# 律学

探 医 珈 藝

人理前集則區位

律 学

缪天瑞著

〔増订版〕

人民音乐出版社 -九八三年·北京

045-16

律

缪天瑞著

〔增订版〕

人民音乐出版社出版

(北京翠徽路2号)

新华书店北京发行所发行 北京第二新华印刷厂印刷

和水为一刻一种种,

850×1168毫米 32开本 190千文字 9.25印张 1983年 5 月北京第 2 版 1983年 5 月北京第 2 次印刷

印数: 9,001-16,235册

书号: 8026 47 定价: 1.55元

本书初版于1950年。1963年修订过一次,刊行修订版。现在 这个版本,是对前次的修订版再行修改而又加补充的增订版。

在前次的修订版中,修订的重点是关于律制的标准问题。初版提出以纯律为标准。这个论点是不切合实际的。修订版对这种论点加以修改,提出以十二平均律为标准,同时与别种律制相适应的观点。又,初版从纯律的角度来看待阿拉伯和印度等民族律制,修订版改正了这种观点,认为阿拉伯等的乐制属于另一种乐制体系——四分之三音体系,在这个前提下阐述它们的民族律制的特点,并增加了《亚洲非洲若干民族乐制》一章。

在现在的增订版中,章的分法基本上仍照前次的修订版,前五章侧重于律学的"原理",后五章侧重于律学的"应用"(其中第八章和第九章有一定的联系)。现在的增订版,对前次的修订版,在律学史方面有较多的修改和补充。前次的修订版与初版一样,只有《律史》一章,而现在的增订版则分成《中国律学简史》、《欧洲律学简史》和《四分之三音体系史料》三章。在这三章里,不仅增加了材料,而且改正了前次修订版以欧洲历史为中心来写各国历史的"欧洲中心论"的历史观点。

在现在的增订版中, 注意律制和调式的密切关系, 加入较多

的调式的实例,根据调式来说明律制;因为律制不可能脱离调式 而孤立地存在。对第九章 《亚非地区几种民族乐制》和第十章 《今天各种律制的应用问题》,则就今天现实音乐生活中所提出 的有关乐制律制问题,作了一些补充。

在现在的增订版中,注意解决本书难读、难懂的问题,尽力做到深入浅出。例如,在第二章中对频率和音分值的关系作了较详细的说明。还有,对比较难懂的第四章《纯律》——特别是该章的后面部分,也作了较详细的说明,但可能仍然是难懂,因为纯律本身是比较复杂的。对初学者来说,即使对《纯律》这一章不能彻底明白,也不妨碍对以后各章的理解,就是说,即使对这一章有不懂之处,仍然能够读懂下面各章,直到最后一章。

增订版把初版和前次修订版所用的一些专名,作了改动。例如,把"古代小半音"改为"五度相生律小半音"(简称"五度律小半音"),把"古代音差"改为"最大音差"[详见正文§50],又"分音"改用"倍音"为主词,等。

在进行这次增订工作时,著者曾把第六章《中国律学简史》、第九章《亚非地区几种律制》和第十章《今天各种律制应用问题》的增订初稿发给有关同志,征求意见,承杨荫浏、李纯一、吉联抗、李元庆、秦鹏章、孙从音、吴同宾、黄翔鹏、徐荣坤、黄康琳、范植楚、吕自强诸同志提出修改意见或提供资料;又承王湘、姜夔同志为书中某些实例作测音和计算,承陈平同志为全书作整理工作,并编制索引等;由于他们的大力帮助,使本书的增订工作得以完成,并使增订质量得以提高,著者在这里表示由衷的感谢。

本书虽然经过两次较大的修订和增订,但由于著 者 水 平 所

限,加上目前资料和设备的缺乏,因此仍然存在着一些未能解决的问题,希望有志于这方面研究的人,共同努力来解决这些问题。更希望广大的读者给著者指出不足以至错误之处。

**缪天瑞** 

## 目 次

										41,2	3	4
第一	章	导	论·	•••••	•••••	••••	••••••	•••••	•••••	(	1	)
	律学	的母	F究范	围和理	论性质	į	••••••	• • • • • • • •	•••••	(	1	)
	音的	高度	E的变	化和音	色的变	き化	••••••		••••••	(	2	)
	乐器	振る	的的类	别 …	•••••	••••	<b></b>	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	•••••	(	3	)
	国际	标准	主高度	••••••	•••••	••••	• • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	••••••	(	15	)
	律学	的多	₽验·	•••••	•••••	••••	• • • • • • •	•••••	•••••	(	16	)
第二	章	音律	計算	法 …	•••••	••••	•••••••	•••••	•••••	(	20	)
	频率	比	•••••		•••••	••••	• • • • • • •	•••••	••••••	(	20	).
	音程	值	•••••		•••••	••••	• • • • • • • •	•••••	•••••	(	26	)
	对数	值	•••••	•••••	•••••	••••		•••••		(	28	)
	八度	值	•••••	•••••	•••••	••••	. ,	•••••	•••••	(	30	)
	音分	值	•••••	•••••	•••••	••••	• • • • • • •	•••••	•••••	(	31	)
	平均	1音和	呈値・	•••••	•••••	••••	• • • • • • •	•••••	•••••	(	37	)
_	振动	1体も	长度与	音分值	的关系	ŕ ··	• • • • • • •	•••••	•••••	•••••(	42	)
第三	章	五月	相生	律 …	•••••	••••	• • • • • • •	•••••	•••••	•••••(	43	)
	五度	相当	<b>上律和</b>	五度相	生法	••••	• • • • • • •	•••••	••••••	•••••(	44	)
	五度	律丿	七音阶	及其特	有音和	呈 …	• • • • • • •		•••••	(	45	)
	五度	律人	卜音阶	及其特	有音和	呈		•••••	• • • • • • •	(	50	)
	五度	律力	七半音	和最大	音差	••••			· · · · · <del>, ·</del> ·	(	53	)

第四章	纯	律	••••••	• • • • • •	• • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • •	••••••	(	61	)
纯	律的	产生注	法	•••••	• • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • •	•••••	(	61	)
纯	律大	音阶	和普通	音差	•••••	• • • • • • • • •	• • • • • • •	•••••	(	63	)
纯	律小	音阶	· • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	•••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • •	•••••	;·····(	70	)
纯	律音	系网	•••••	•••••	•,••••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • •	•••••	(	74	)
大	半音	和小	半音 "		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • •	• • • • • • • •	•••••	(	78	)
第五章	+	二平	均律 …	•••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	(	87	)
Ξ	种律	制的	差异 ·	•••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		·····	(	91	)
第六章	<b>ф</b>	国律	学简史	••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		• • • • • • •	•••••	(	97	)
乐	制的	地区	划分 …	•••••	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	• • • • • • • • •	• • • • • • • •	•••••	(	97	)
与	古代	中国	律学有	关的	音乐知	识和问	題 …	•••••	(	99	)
中	国律	学史	的分期	••••	• • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • •		(	103	)
第	一时	期	一三分	损益	律发现	时期 "	• • • • • • •	••••••	(	104	)
第	二时	期一	一探求	新律	时期,…	<u> </u>	• • • • • • • •	••••••	(	117	)
律	学上	的新	成熟·		• • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	•••••	·····	(	126	)
音	阶和	调式:	的发展	••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • •	••••••	(	1 <b>3</b> 2	(
隋	唐燕	乐的	音阶和	调式	••••••	••••••	• • • • • • • •	• • • • • • • • •	(	135	)
第	三时	期—	-+=	平均	律发现	时期.	•••••	•••••	(	142	)
第七章	欧	洲律	学简史	••••	• • • • • • • •	•••••	•••••	•••••	(	149	)
欧	洲律	学史	的分期		• • • • • • • •	••••••		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	(	149	)
第	一时	期—	一五度	相生	律时期	•••••	•••••	•••••	(	150	)
第	二时	期—	- 纯律	时期	••••••	•••••	•••••	•••••	(	157	')
纯	律在	键盘	乐器"上	的实	现——	中庸全	音律	•••••	(	163	;)
纯	律在	无伴	奏合唱	上的	处理法	••••••	•••••	••••••	(	169	))
第	三时	期	-+=	平均	律时期	•••••			(	174	ı)

音	- 乐珥	论	中	科学	研究	的亲	折阶目	ŧ	• • • • • •	• • • • • •	• • • • • • •	• • • • • •	(176)
第八章	t o	1分	之	三音	体系	史制	群 …	·····	••••	· · · · · · ·	•••••		(187)
阿	拉伯	民	族	乐制	••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	• • • • • •	(187)
印	度民	法族	乐	制・	•••••		••••	•••••	•••••	•••••	•••••	• • • • • •	(194)
第九章	t J	丰	地	区几	种民	族	乐制	•••••	••••	•••••	·····	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	(203)
中	国等	丰地	的	中立	音程		•••••	,	•••••		•••••		(203)
. 耳	1度月	己西	亚	甘美	兰牙	队自	内五、	九、	十平	均律	制		(206)
泰	<b>国</b>	产地	的	七平	均律	t	• • • • • • •	••••	•••••	•••••			·(214)
E	本的	り律	制	和五	声调	式	•••••	•••••	••••	•••••			(219)
` #	国自	勺有	半	音五	声调	引式自	问题		•••••	•••••	•••••	•••••	·(224)
													·(226)
第十章		<b>〉天</b>	各	种律	制的	的应	用问	<b>i</b>	•••••	•••••	•••••		·( <b>2</b> 30)
+	-==	戸均	1律	的应	用户	更	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••		·(230)
1	ト提え	<b>美演</b>	奏	上的	音律	丰问;	题 …	• • • • • •	•••••		•••••	•••••	·(234)
声	5乐_	上的	1音	律问	题	••••	• • • • • •	•••••	•••••	•••••	•••••		·(248)
有	<b>奎弦</b> 分	乐的	1音	律问	题	••••	••••		••••		•••••	•••••	(252)
,	\度 i	丘化	人性	••••		••••	• • • • • •	• • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	•••••	•••••		(253)
. 1	战国	民族	音	乐的	律制	间间	题	• • • • • •		•••••	•••••	•••••	(256)
· ·												•	
附录-	<u></u> 7	<b></b> 子分	值	和頻	來承	寸照.	表 "	• • • • • •	• • • • • •	•••••	••••••	•••••	(258)
附录:	<b>-</b> i	音律	丰表	•••	• • • • • •	••••	•••••		• • • • • •	•••••	••••••	•••••	(263)
附录:	Ξ	本丰	专	名、	人名	宫索	引	• • • • •	• • • • • •	•••••	•••••	•••••	(267)
附录	四、:	主要	多多	考文	猫	••••	• • • • • •	• • • • • •	• • • • • •	•••••	•••••	•••••	(283)

### 第一章 导 论

#### 律学的研究范围和理论性质

§ 1. "律"①是构成律制的基本单位。当各律在音度上作精密的规定,形成一种体系时,就成为"律制"(temperament)。例如,十二平均律就是一种律制。律制和音阶有不可分的关系,因此,许多理论书把律制和音阶在"乐制"(或称"音体系")(tone system)的名下,一起加以研究。例如,研究现代乐制时,一边研究大小音阶的构造,包括全音和半音的位置,主音(即音阶的第一音)和属音(即第五音)的作用等,一边研究音阶中各音的由来和精密的高度(后者即对音阶作数学的研究)。

律制和音阶固然可以合并研究,但是两者非无各自的研究领域。例如,我们可以不管什么平均律、纯律,而专来研究大音阶、小音阶和各种调式的构造,另一方面,又可以就大小音阶等,专门研究它所根据的律制,例如五度相生律、纯律和十二平均律。

律学就是在律制和音阶分别研究的情况下成立的一门科学。

① "律"和"音"二字,含义略有不同。在一种律制中每一个单位,称为"律";在音阶中每一个单位,称为"音"。音律二字合用而成为"音律"时,其含义一般较广,除指律制外,兼指在高度上作精密规定的所有的音而言。

但是,由于律制与音阶关系十分密切,因此律学不可能 离 开 音阶, 孤立地存在, 特别是研究亚非地区的民族律制时, 由于音阶构造多种多样, 更须把律制和音阶同时提出, 综合研究各种民族的乐制。

§◆2. 律学是"音响学"(或称"声学")(acoustics)的一部分,以数学为依据。为了便于初学者研究,本书用一定的篇幅讲述律学研究的方法问题——例如有关音律计算的方法,这样就较多地涉及数学。但是,律制不是孤立存在的,而是与音乐本身紧密联系的。所以律学不可能只作数学的研究,而必然由于联系实际而涉及律学的应用和发展,以及世界各民族的乐制的区别,等等。

基于上述的律学的理论性质,本书在阐明律学的原理之外,还讲述律学在音乐各方面的应用,在阐述一种律制本身存在的矛盾和几种律制相互之间存在的矛盾时,列举解决这些矛盾的历史经验之外,还提出今日我们应当怎样以辨证的观点对待这些矛盾,在阐述国际间广泛应用的大小调体系之外,还举述亚洲、非洲地区几种主要的乐制。

#### 音的高度的变化和音色的变化

§ 3. 音由物体振动而生。当该振动在一定时间内有规则地、 周期地反复着时,所发之音就有一定的高度;这种音称为"乐音"。各种管、弦乐器所发之音,都属于乐音。如果振动毫无规则,所发之音就没有一定的高度;这种音称为"噪音"。街道的噪杂声和风雨声等,都属于噪音。音乐中所用的音,绝大部分是 乐音,所以音乐理论中所讲的音,一般都是指乐音而言。音乐中也用一种噪音,这种噪音没有确定的高度,或高度模棱两可,但有一定的音色(音色即音的不同的特征,例如木鱼的音不同于梆子的音),这种噪音可以称为"乐音性噪音"。木鱼、梆子、锣、鼓(指一般不定音的鼓)和钹等所发之音,属于乐音性噪音。

§ 4. 音由物体振动而生,因此,我们可以用振动次数的多寡来计算音的高度。每秒钟振动的次数,称为"频率"(frequency)。每秒钟振动一次,即振动体来回反复一次,或起伏一次,称为一"赫兹"①。赫兹是频率的单位。

物体振动越快,即每秒钟振动次数越多,亦即频率(数)越大,音就越高,反之,振动越慢,即每秒钟振动次数越少,亦即频率(数)越小,音就越低。人耳所能感受的音的高度范围,最低约16赫兹,最高约20000赫兹。超过20000赫兹的音,称为"超短波"。低于16赫兹的音,称为"超长波"。音乐中所用的音,约自16赫兹(约C<sub>2</sub>)至7000赫兹(约a<sup>5</sup>);而如果包括倍音〔§7〕在内,就达到并超出20000赫兹。

#### 乐器振动的类别

- § 5. 物体的振动, 其状态根据振动物体(包括发音体和共鸣体) 的性质和形状等而异。乐器的振动大体可以分为五种, 即,
- (1)弦振动——例如拉弦乐器(小提琴、二胡等)、拨弦 乐器(竖琴、琵琶等)和击弦乐器(钢琴、扬琴等)的弦的振动;

① 把频率的单位称为"赫兹",是为了纪念德国物理 学家 赫 兹 (Heinrich Rudolph Hertz, 1857--1894)。赫兹常记作Hz,例如440 Hz。

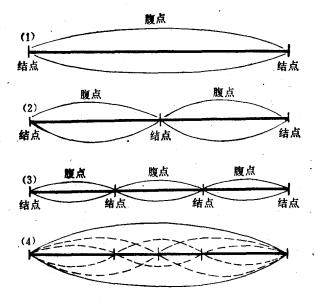
- (2) 气柱振动——例如竹笛、木管乐器(长笛、单簧管、 双簧管等) 和铜管乐器(小号、长号等)的管内空气的振动,
- (3) 膜振动——例如鼓的皮膜的振动,又如二胡琴筒上所蒙的皮膜(作为共鸣体)的振动,
- (4) 板振动——例如锣(平面板)、钹(隆起板)和钟(弯曲板)的振动,又如月琴、小提琴的面板和背板、钢琴的响板(都作为共鸣体)的振动,
- (5)棒振动——例如梆子、三角铁、木琴和音叉(测音工 具)的振动。

各种振动相互之间,虽有类似之处,但是各有各的特点。

§ 6. 弦振动主要有两个特点。特点之一是: 一条两端紧系着的弦,在同样的张力下,弦愈短,则频率愈大(即振动愈速)而音愈高。即弦的长度与频率(及高度)成反比。把弦的长度减去一半,即弦的\\*3 部分起振动,则频率增大一倍;所发之音比全弦所发之音高一"八度"[参看下面第 2 例]。如果弦的\\*3 部分起振动,则频率增大到三倍;所发之音比全弦所发之音高十二度,即"八度"加"纯五度"。如果弦的\\*3 部分起振动,则频率增大到四倍;所发之音比全弦所发之音高两个"八度"。以下类推。

弦振动的另一特点是,一条弦起振动时,实际上不仅全弦 (即弦的全长)振动,同时该弦均分为二段、三段、四段、五 段……而振动。均分为二段时,所发之音正与上面所述弦的 \* 部 分所发之音相同(高一"八度"),均分为三段时,所发之音与 弦的 \* 部分所发之音相同(高十二度),以下类推。所以,一个 音实际是混合着八度、五度、三度等许多音而成的一种"复合 音"(compound tone)。 下例表示弦振动时的状态<sub>8</sub> (1)表示全弦振动的状态; (2) (3)表示均分为二段、三段振动时的状态(段数更多时不一一列举)。弦振动时截止或截断的地方称为"结点"。振动中心称为"腹点"。(4)表示全弦振动混合着分段振动时的部分状态(结点等不另标明)

第1例

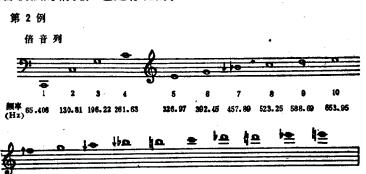


§ 7. 上面讲到,一个音实际是混合着八度、五度、三度等许多音而成的一种复合音。这时,全弦振动发生"基音"(fundamental tone);分段振动发生各种"倍音"(或称"泛音")(overtone)(又称"分音"[partial])。下面第2例表示形成复合音的倍音列。

例中第一个音称为"基音"。

第二个音起以后各音,总称为"倍音",按次序分别称为"二

倍音"、"三倍音"、"四倍音"等。基音一般最强,盖过所有的 倍音,所以通常总是以基音为高度的标准。但基音较弱而倍音比 基音较强的情况,也是存在的。



各倍音中高方的双数倍音,都是低方某倍音的高八度的音;例如四倍音是二倍音的高八度音,十倍音是五倍音的高八度音。 这是因为,高方倍音的弦长(弦长即弦的长度,这里指分段振动的弦长),是低方倍音的弦长的 \$ (前面讲过,弦的 \$ 部分所发之音,比全弦所发之音高八度)。

980.94

1046.5 1111.9 1177.4 1243.1 1307.9

七倍音(包括十四倍音)和十三倍音,比谱上所记(不论根据五度相生律、纯律或平均律而记的谱)稍低,在音符左面以向下箭头(\)为记。十一倍音则比谱上所记稍高,在音符左面以向上箭头(\)为记。这些稍低和稍高的音的精密高度,以后还会讲到。

上例中音符下面、频率上面的数字,有好几种作用。

- (1)除"1"表示基音外,其余数字表示倍音的序数,"2"表示二倍音,"3"表示三倍音,等等。
  - (2) 表示弦分为几段振动。例如"3"表示弦分为三段振动。
  - (3) 表示频率的倍数。例如"3"表示三倍音的频率是

基音频率的三倍, 即 g 音的频率196.22是C音的频率65.406的三倍。

(4) 表示倍音频率的比数(简称"频率比")。例如,二倍音对基音的频率比为 <sup>4</sup>,即。

$$\frac{\text{c}$$
的频率}{\text{C}} = \frac{130.81 \text{Hz}}{65.406 \text{Hz}} = \frac{2}{1}

三倍音对二倍音的频率比为量,即,

§ 8. 对于各倍音,我们的肉耳虽不能全部听出,却在某种情况下,确能听出一部分。试在钢琴上弹出一个稍低的音,任其延长,凝神谛听,先听到基音,然后微微听到高八度的音(二倍音)、高十二度的音(三倍音)和高两个八度的音(四倍音),有时还可以听到大三度的音(五倍音)。但是,我们所能听到的倍音,主要是影响音的音色。各种乐器所发之音所以各有特殊的音色,即由于其音内所含的倍音的数量和各倍音的强度的差异而起。

各种乐器构造不同,使弦振动或气柱振动所发之音的倍音, 在数量和强度上发生各种变化。例如,有的音内,倍 音 只 有 几 个,而另外的音内,倍音却多至二十余个以至更多。又如,有的 音内,某几个倍音特别强显,而另外的音内,某些倍 音 却 消 失 了。音内倍音的多种多样的变化,就产生各种各样的音色。各种 乐器音色不同,同一乐器其高音和低音的音色也有差异,都由音 内所含倍音的数量和强度的不同而起。

§ 9. 关于弦的分段振动,还可以在小提琴上作实验,以资证明。把小提琴的d'弦均分为三段、四段、五段等。然后把手指

以上的实验,就是小提琴等乐器上经常使用 的 "泛 音"① 奏 法的根据。以上的实验表明,基音内某倍音在一定条件(轻按) 下,可以转化为照该倍音高度的基音。

§ 10. 气柱振动与弦振动相似。首先,气柱的长度与频率 (及高度)成反比。例如气柱的 \$ 部分起振动时所发之音,比气柱全长所发之音高八度;气柱的 \$ 部分所发之音,比气柱全长所发之音高纯五度,等等。其次,气柱振动时不仅全长振动,同时分为二段、三段、四段、五段等振动,产生许多倍音,形成复合音。

此外,与弦振动时因运用轻按可以使基音内某倍音转化为基

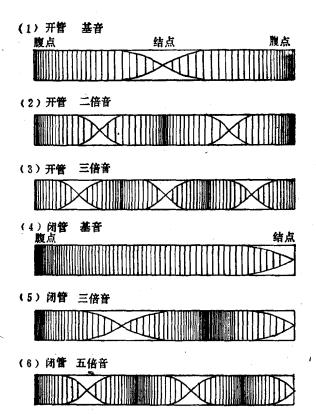
① 如果把演奏上习惯所用的"泛音"和本书所用的"倍音"两个名词严格地加以区别,则泛音可以说是倍音的转化体;泛音这名词是基音内某倍音因运用"轻按"转化而成的一种基音的特称。

音[\$9]的情况相类似,气柱振动如果运用"超吹"(管乐器上缩紧嘴唇、使劲送入气息的吹奏法),也可以使基音内某倍音转化为基音。例如,在某些铜管乐器上运用超吹,可以使 同一长 度的气柱产生高八度、高十二度以至高两个八度等较高的音。这说明,在气柱振动,基音内某倍音在一定条件(超吹)下,可以转化为照倍音高度的基音。

上面所讲的气柱振动的状态, 都与弦振动相似。

- § 11. 气柱振动还有与弦振动不同的状态。首先,构造不同的管子,其气柱振动的状态也不同。管子有"开管"(open pipe)和"闭管"(stopped pipe)两种。在开管,一端为送气口,一端是敞开的。在闭管,一端为送气口,另一端是封闭的。大多数的管乐器,如竹笛、双簧管和大管等的管子,都属于开管。木琴的共鸣筒的管子,也有用闭管的。开管和闭管的气柱振动的状态是不相同的。下面第3例表示开管和闭管的气柱振动的各种状态。
- (1) 表示开管发生基音时气柱振动的状态,中心处为结点, 两端为腹点(与弦振动相反)。又,开管可以发生所有的倍音。
- (2)、(3)表示开管发生二倍音和三倍音时气柱振 动 的 状 态 (倍数更多时不一一列举)。
- (4)表示闭管发生基音时气柱振动的状态;一端为腹点,另一端为结点。又闭管只能发生单数的倍音。
  - (5)、(6) 表示闭管发三倍音和五倍音时气柱振动的状态。

同样长度的管子,开管发出的音比闭管发出的音高八度。这 从上例所示的气柱振动的状态也能理解到;上例中(1)的腹点至 结点的长度比(4)的短一半。



§ 12. 气柱振动还有一点与弦振动不同,就是管内气柱振时,气柱的一部分要突出在管口的外面,即气柱延伸到管口的外面,可见气柱的长度不等于管子的长度,而比管子稍长。因此,按照音的一定高度来计算管子的长度时,必须作"管口校正"(mouth correction)。现在把比利时音响学家兼乐器研究家马容(Victor Mahillon, 1841—1924)提出的管口校正的简单公

式①,加以说明如下。

管子长度为管子直径(内径)八倍以上的细长管子,开管时。 管子长度+直径~气柱长度。②

即管口校正的数值大体相当于直径。例如一根细长的管子, 长20厘米,直径2厘米,则其气柱长度约为22厘米,管口校正数 约为2厘米。闭管时。

管子长度+半径~气柱长度。

即管口校正的数值大体相当于半径。

管口校正的计算法是十分复杂的,除了管子长度与直径的比例之外,管壁的厚度(特别是管口的厚度)和管子的形状(特别是管子的各个部分的直径有大小时)等等,都会对校正数产生影响。

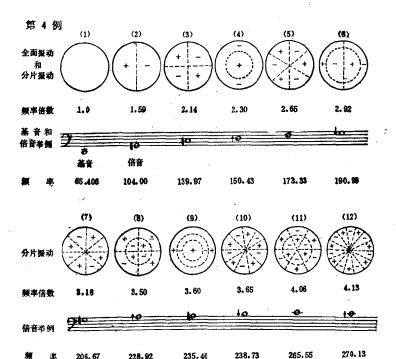
§ 13. 膜振动与弦振动及气柱振动比较,其不同之点,主要在于,它们所发生的倍音在性质上有所不同。弦振动和气柱振动在振动体全长振动的同时,均分为二段、三段……而振动,在基音之外,同时发生频率比基音增二倍、三倍……等各种"整数倍"的倍音。膜振动则在全面振动的同时,作各种的分片振动,全面振动产生基音,分片振动产生各种"非整倍数"的倍音。即由分片振动所生的倍音的频率,都不是基音频率的"整数倍",而是"非整数倍"(例如1.59倍、2.14倍……)。看下面第4例。

. 例中加号(+)和减号(-),表示分片振动时此起彼伏的 部分。乐谱上箭头(↑↓)表示稍高和稍低。

· 11 ·

① 根据苏联嘎尔布佐夫 (H. A. Гарбузов) 所著«音乐音响学» (Музыкальвал Акустика), 1954年。

② ≈表示"约等于"。



在弦振动等所发生的倍音列[第2例]中,各整数倍的倍音与基音是协和的(除个别倍音外),在上例的膜振动所发生的倍音列中,各非整倍数的倍音与基音是不协和的(除个别倍音外)。以膜振动为发音体的乐器(如一般不定音的鼓)所发之音,没有确定的高度,或高度模棱两可,其原因便在于此。定音鼓能发生确定高度的音,则是由于皮膜质量特殊,又有精密的调整装置可使皮膜紧张,产生弹力等所致。

§ 14. 板振动依板的材料(金属、木质等)和形状(平面、 隆起、弯曲等)而异其振动状态。圆形和方形的平面板的振动, 与膜振动相似,在作全面振动的同时,作分片振动,分别产生基 音和非整数倍的倍音,各倍音与基音是不协和的。以板振动为发 音体的乐器(锣、钹等),由于形状各异,使分片振动的状态和非整数倍倍音的倍数等各不相同,它们都没有确定的高度,却各具有特殊的音色。

钟由于钟壁的厚度有变化,有利于产生整数倍的倍音,使音的高度趋于确定或比较确定。我们听到的钟的确定或比较确定的高度,不是基音,而是某个倍音。钟打击出声后,开始音和余韵常显然不同,这是由于钟打击出声后,基音和各倍音在强度上起了变化所致。

§ 15. 棒作横振动时,有点象弦振动,作全长振动的同时, 作分段振动; 但是,分段振动所发生的倍音却是非整数倍的倍音。

棒振动有二种类型。一种是一端固定、另一端自由的棒的振动,一种是两端都自由的棒的振动。前者可以用音叉为例,后者可以用木琴为例。音叉有两条叉股,每条叉股都是一端固定(固定在共鸣箱上),一端自由振动。音叉振动时发生的倍音极高,第一个倍音就是 6.27 倍,这种倍音的音量极弱,且易消逝,所以只能听到基音。只有基音而听不到倍音的音,叫做"纯音"(pure tone)。

木琴由许多两端自由的棒(硬木条)组成。这种棒所发生的倍音是非整数倍的倍音,例如第一个倍音就是2.76倍。由于木琴的每根木条下)都装有一个共鸣筒,这种共鸣筒的基音的高度与木条的基音相一致,使木条发音时基音获得共鸣而扩大,并使音的高度趋于确定。

综上所述,整数倍的倍音连同基音,集合而成有一定高度的音;非整数倍的倍音则连同基音集合而成无一定高度或高度模棱

两可的音。无一定高度的音或乐器,在一定的条件(发音体质量特殊、有调节装置和共鸣作用等)下,可以转化为有一定高度的音或乐器。

音乐理论中一般所称倍音,是指弦振动和气柱振动所发生之音的整数倍的倍音而言。但是律学不仅接触到弦振动 和 气 柱 振动,而且接触到膜振动、板振动和棒振动,所以本章对膜振动等和非整数倍的倍音作了简要的说明。

§ 16. 音乐中所用的各种高度的音(或律),视律制的不同,或多或少地根据于倍音原理。在这里,倍音转化(即基音内某倍音转化为照该倍音高度的基音[§9、§10])起一定的作用。所有的律制,都是在八度内作各种高度的分划;而八度就是根据二倍音而成的。根据三倍音而成的五度,也极广泛地应用在各种律制中。

倍音原理属于自然法则。在律制中,自然法则是基础,但是必须看到,在律制中对自然法则在一定程度内进行调整,是完全可能的。所以,律制并非都是照原样地依照自然法则。例如纯五度,在五度相生律和纯律,固然照原样地依照自然法则(倍音原理),但是在十二平均律,就有所调整,使音程稍为变狭〔详见第41例〕。此外,在律制中,对自然法则也是有所选择的。例如纯律中的半音,是用倍音列中十五倍音到十六倍音的音程,既不用十四倍音到十五倍音的音程,也不用十六倍音到十七倍音的音程〔参看\$78〕。

在音乐艺术中应用自然法则(包括对自然法则进行调整或有 所选择)时,既受民族爱好或当时的文化思潮的支配,并为当时 的科学技术的力量所左右。

#### 国际标准高度

\$ 17. 音的标准高度,在不同时代和不同地区有所不同。在欧洲,音的标准高度,从十七世纪起,总的趋向是逐渐升高。在十七、十八世纪时,a¹音的高度,其频率约从415到430。到十九世纪,在1834年,德国斯图加特物理学家会议决定 a¹=440。以后在1859年,法国巴黎音乐家和物理学家会议决定 a¹=435。到二十世纪,在1939年,英国伦敦国际会议恢复斯图加特会议的结果,又决定 a¹=440。这个 a¹=440 的高度,称为"第一国际高度"。而巴黎会议决定的 a¹=440 的高度,称为"第二国际高度"。第一国际高度因通用于演奏会上,所以也称为"演奏会高度"(concert pitch)。现在国际上通用第一国际高度,即 a¹=440。

另外有一种标准高度,常用于物理学的计算上,即  $c^1=256$  (依照五度相生律或纯律,  $a^1=426.66$ )。这种高度称为"物理学高度"(physical pitch)或"理论标准高度"(philosophical standard of pitch)。这个高度用于物理学的计算上,有方便之处,即  $c^1=256$ ,每低一个八度,均可用 2 除净。

§ 18. 在欧洲,标准高度之所以随着时代逐渐升高,是由于欧洲近代管弦乐队追求乐器(主要是弦乐器)的明亮音色,以期获得乐队的辉煌效果所致。而乐器所以能获得明亮的音色,则有赖于较高的科学技术水平。

详言之,弦乐器为获得明亮的音色,乐器的弦就必须紧张,因为同样一条弦,张力越紧,则音色越明亮。但是,弦能经受强大

的张力,就必须改进弦本身的质量和张弦的工具的耐力。举钢琴为例来说,十八世纪时,钢琴的弦以铜丝为主,配用铁弦,同时以木框张弦。这种钢琴的弦(即铜丝等)不能尽量紧张,否则弦受不住,木框也要绷坏。所以当时的钢琴,发音 纤 弱,音 量 不大,音域不广。后来到十九世纪二十、三十年代,冶金技术不断进步,钢琴改用钢弦,又用钢框张弦。从此钢琴的弦就能尽量紧张,产生明朗的音色和强大的音量;同时音域也大为加宽,由五组增加到七组。

我国古代的标准音问题,见第六章。

§ 19. 本书将先讲述三种律制──五度相生律、纯律和十二 平均律。这三种律制,除了八度都相同之外,其余各音几乎都有 出人。所以把三种律制作比较时,用c¹音作为共同的起点。

本书为了便于实验,使理论与实际紧密结合,不采用把"物理学高度"作为理论研究的高度( $c^1=256$ )的习惯,而以十二平均律的  $a^1=440$ ( $c^1=261.63$ )为标准,把  $c^1=261.63$ 作为三种律制的共同起点。

#### 律学的实验

§ 20. 律学联系实际,有两个方面,其一是联系音乐本身, 另一是联系声音。律学开始研究时,必须联系声音,即须作律学 的实验。如果读者不闻其声,尽在纸上看图例,演算式,则至多 只能对律学获得一个肤浅的概念,而无助于对律学的深刻理解, 除非是他对音的精密高度已有丰富的感性经验。

对于一个音乐工作者,要求能够听出普通音差(约等于十二

平均律半音的五分之一[§71]) 或最大音差(约等于十二平均律半音四分之一[§63])。敏锐的耳朵能听出半个普通音差;半个普通音差以下是较难听辨的。要知道,律学的实验的过程,也就是锻炼听觉的过程,经过不断的实验,能不断提高听觉的能力。

怎样做律学的实验,可以根据各人的条件而自行设计或安排实验的工具。可以自制弦测音器或簧片发音的实验器,也可以用乐器来代替,——例如用钢琴、大提琴、小提琴和扬琴。

§ 21. 弦测音器的构造如下。在木板上紧张着一条或数条弦,沿着弦,放着一条测音尺。测音尺上刻出弦的长度、音的高度、频率数和音分值等。弦和测音尺之间,装一活马,移动活马,可以改变弦的发音部分的长度,以调整发音的高度,同时在测音尺上指明度数。测音时,对着被测定的音,使测音器上的弦发音,同时移动活马,使弦发生之音完全合于被测定的音为止。最后,查看活马在测音尺上所指示的度数,就可以知道音的高度或其它数值。弦测音器所用的弦,必须经过检查,一条弦的各个部分,其粗细和质量要一致,否则做出的实验不易准确。

§ 22. 对本书所讲的内容,如果不能大部分作实验,可以选几个重点来作实验。例如,在纯律,先去熟悉纯五度,然后分别求出纯律大三度[§68]和五度相生律大三度[§54],把两个大三度加以比较,以期听出两者的差异——普通音差[§71]。在五度相生律,则照五度相生法找出最大音差[§63]。再用调音准确的钢琴或风琴,把平均律的主要音程与五度相生律及纯律作比较,以期认知平均律的特点。

拿一把小提琴和一把中提琴做实验。先把小提琴上四条弦照纯五度定弦,定准 $\mathbf{g}$ — $\mathbf{d}^1$ — $\mathbf{a}^1$ — $\mathbf{e}^2$ 各音,然后对着小提琴上已定

好的四条弦, 把中提琴上的四条弦定准 c-g-d¹-a¹各音。 现在我们试着用手指轻按中提琴的 c 弦的五分之一处, 用弓拉奏, 产生泛音。这个泛音就是五倍音 e²音——这是纯律的 e²音(在 e 下 面加一短线, 表示纯律的音)。拿这个 e²音与小提琴上 e²弦所发的 e²音相比较, e²音比 e²音稍低。这种微小的差异, 就是所称"普通音差"。

把中提琴上 c 弦所发的 c 音移高八度,成为 c¹音,又 把 中提琴上 c 弦所发的五倍音 e²音移低八度,成为 e¹音, c¹—e¹两音构成了纯律上的大三度。同样把中提琴上 c 弦所发的 c 音移高八度,成为 c¹音,而把小提琴上 e²弦所发的 e²音移低八度,成为 e¹音,则 c¹—e¹两音构成了五度相生律上的大三度。使两种律制上的大三度(c¹—e¹和 c¹—e¹)分别同时发音,可以 听 出纯律大三度 c¹—e¹比五度相生律大三度 c¹—e¹较为和谐。

**§ 23.** 再用钢琴或扬琴作五度相生律的实验 如 下。'先 把 第 一、二两弦都定为中央 C 音 (即 c ¹ 音),次把第二弦均分为三段,取其二段(可用马子),得 g ¹ 音。这时第一、二两 弦 c ¹ 一g ¹ 构成纯五度。

再取第四弦(非第三弦),先与第二弦一样,定为 8<sup>1</sup>音,然后把 8<sup>1</sup>的一段弦再均分为三段,取其二段,得 d<sup>2</sup>音。把第三弦先照新定的第四弦定为 d<sup>2</sup>音,然后把弦放长一倍,得 d<sup>1</sup> 音(即作八度移动)。

把第四弦先改成与第三弦(**d**'音)一样, 然后均分为三段, 取其二段, 得 a'音。

通过第六弦所得的 e 音, 把第五弦定为 e 音。如此继续相生, 一直到 b 音, 如下例。

第 5 例

最后的 <sup>1</sup>b<sup>1</sup>音比 c<sup>2</sup>音稍高,这种微小的差异,就是所称"最大音差"。

通过实验,可以亲自感知一种律制的特点和它本身存在的矛盾,以及几种律制的区别和它们互相之间存在的矛盾。通过实验,对于感觉到的东西,对照理论,可以加深理解。

## 第二章 音律计算法

#### 频 率 比

§ 24. 音律计算法就是音程的计算法。计算音程的方法有好 几种,现在先研究根据频率来计算的方法。这个方法是其它计算 法的基础,即使采用其它计算法,对于这种根据频率的计算法, 也必须知道。

根据频率来计算,就是用"频率比"(即两个频率的比数)来表示两音的距离,即用频率比来表示音程的大小。

从第 2 例中摘取构成八度音程的 C 和 c 两个音,查出 C 音的 频率为65.406Hz, c 音的频率为130.81Hz,如下例。

第\_6例

则两音的频率比就是:

130.81 Hz:65.406 Hz=2:1

比例式一般写成分数形式,而且表示频率比时,一般把**校大**的数作为分子,较小的数作为分母。因此上式可以写成,

$$\frac{130.81 \text{Hz}}{65.406 \text{Hz}} = \frac{2}{1}$$

这就是说,构成八度音程的 C 和 c 两个音的频率比是 2 比 1 , 即 2:1, 或 子。

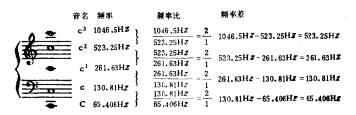
§ 25. 这里对初学者特别提出应该注意的一点,即 频 率 比 (两个频率的比数)与频率差 (两个频率的差数)完全不同,切 勿混淆。

$$C-c$$
 两音的频率比是  $\frac{130.81Hz}{65.406Hz} = \frac{2}{1}$ 

C-c两音的频率差则是130.81Hz-65.406Hz=65.406Hz

频率比能够精确地表示音程的大小,而频率差则不能做到这一点。例如同一音程,不论它在低音方面或高音方面,其频率比都相同。但是同一音程的频率差在低音方面和在高音方面就不相同;从低方音到高方音,差数越来越大。从第2例中抽出C音及其上方的第二、四、八、十六倍音共五个音,这些音的相邻两音都构成八度音程。这个八度音程不论在低音方面或高音方面,频率比都是十。根据同一频率比而形成的音程,不论在低音方面或高音方面,给我们听起来,其相对高度的感觉是完全一样的;即与频率比是一致的。但是,不同音位的各个八度音程的频率差,却是互不相同,音越高,差数就越大。看下面的算式:

#### 第 7 例



再举一例来说明。在五度相生律,c'-d', d'--e', f'-g'、

g¹—a¹、a¹—b¹,都是全音(大全音[§54]),不论它们在低音方面或高音方面,频率比都是♣。但是这些大全音的频率差就互不相同,音越高,差数就越大。看下面的算式。

这就明示,只有频率比才能精确表示音**程的大小**,适合表达人们 的听觉对相对高度的观念。

§ 26. 另外,频率比还可以换算成"音分值"。音分值表示音程的方法比频率比更为明了,给音程的精密计算提供极大的方便。例如,现在有五度相生律中的全音和半音(小半音〔§55〕)两个音程,它们用频率比来表示是这样:

$$\frac{9}{8}$$
 (大全音)  $\frac{256}{243}$  (小半音)

根据这两个音程的频率比,我们固然能知道前者的音程大于后者的音程,但究竟大多少,却非经一番计算,就无法知道。现在把这两音程的频率比。和<sup>2</sup> 143,换算成音分值,变为204音分和90音分,我们一瞥即知前者(大全音,204音分)大于后者(小半音,90音分),且为后者的二倍强;此外,还很容易知道两个音程正确的倍数。

 $\frac{204 \, \oplus \, \bigcirc}{90 \, \oplus \, \bigcirc} = 2.26$  (即大全音有两个多点小半音那么大)

在音程计算上,音分值比频率比还有其它的优点,又由频率 比换算为音分值的方法等,后文就要讲到,这里 先 不 详 述。不 过,这里有必要说明一下,频率比以及频率比和音分值之间的换 算法这两个问题,至为重要,读者必须掌握。本书以后各章讲到 各种律学问题时都采用这两种计算方法。频率比的概念,上面已 经讲了,至于频率比与音分值之间的换算法将在 §44 说明,如果 初学者(特别是数学方面基础较差的读者)能够重点地掌握这两 点,就能明白本书全书的阐述。当然,为了理解得更深入一些, 还需要掌握更多的有关音律计算的问题。

$$\frac{4}{3}$$
 (纯四度)  $\times \frac{5}{4}$  (纯律大三度)  $= \frac{5}{3}$  (纯律大六度)

§ 28. 欲求两音程之差的频率比,把较大音程的频率比,除以较小音程的频率比,即得。例如,在第 2 例,把六倍音 g¹对四倍音 c¹ (即纯五度 c¹-g¹)的频率比录,除以六倍音 g¹对五倍 e¹ (即纯律小三度 e¹-g¹[详见第四章])的频率比录,即得 e¹对 c¹ (即纯律大三度 c¹-e¹[详见第四章])的频率比。如下:

$$\frac{3}{2}$$
 (纯五度) ÷  $\frac{6}{5}$  (纯律小三度) =  $\frac{5}{4}$  (纯律大三度)

§ 29. 当我们已经知道一音与上方某度音的频率比(例如已

知道 c¹音与上方纯五度 g¹的频率比为 €〕,欲求该音与下方同度 音 (例如 c¹音与下方纯五度 f 音)的频率比,只要用该音与上方 音的频率比的"倒数",即可。例如:

 $c^1$ 与上方纯五度  $g^1$ 的频率比为  $\frac{3}{2}$ 

$$c^1$$
与下方纯五度  $f$  的频率比为  $\frac{2}{3}$ 

$$\left(\frac{256}{243}\right)^x = \frac{9}{8}$$

先把上式中的分数化为小数

$$(1.05349)^x = 1.12500$$

等式两边各取其对数

$$x \log_{10} 1.05349 = \log_{10} 1.12500$$
  
$$x = \frac{\log_{10} 1.12500}{\log_{10} 1.05349}$$

从对数表中可以查得

$$\log_{10} 1.05349 = 0.02263$$

$$\log_{10} 1.12500 = 0.05115$$

故得
$$x = \frac{0.05115}{0.02263} = 2.26$$

即这里全音比半音大二倍强。

上面的算法,与用"对数值"的计算法正是一样〔详见后文〕。

§ 31. 计算音律时,一般限于八度之内,即在一"组"之内;如果有某音超过一组时,就把该音移到一组之内。八度音程的频率比是子,所以,要想把一组以外较高的音移(移低)到一组以内,就视其距离几个八度,除以2(即子)几次方,即得。例如:

上面用除数24,即表示移低四组。

要想把一组以外较低的音移(移高)到一组以内,则视其距离几个八度,乘以2(即升)的几次方,即得。例如:

§ 32. 从一音的频率 (例如 c¹的频率 = 261.63), 根据频率 比求其它相应各音的频率,则如下:

261. 63(c<sup>1</sup>) × 
$$\frac{3}{2}$$
 = 392. 45(g<sup>1</sup>)  
261. 63(c<sup>1</sup>) × 2=523. 25(c<sup>2</sup>)  
261. 63(c<sup>1</sup>) ×  $\frac{2}{3}$  = 174. 42(f)

#### 音 程 值

§ 53. 上面讲述频率比的运算方法和如何用频率比来表示音程的大小,讲到音分值的用途和优越性,还提到理解有关频率比和音分值的重要性。下面将详述由频率比换算为音分值的方法和音分值的运算法,同时将提到与音分值用途相类似的几种音程计算法。音分值和另外几种相类似的音程计算法,总称为"音程值"(interval value);它们都应用"对数"的原理演绎而成。所以在讲述各种音程值(包括音分值)之前,有必要把对数的原理和用法作一简单的说明。

在 § 30曾提出一种用对数来演算的方法,凡遇比较两音程的大小,都可以用这方法来计算。例如,欲求 g 比 25% 大多少,就把两个分数化为小数,再从对数表查出这个小数的对数,最后拿两个对数加以比较,即得。当我们查到两个对数的时候,即使未经比较计算,对两音程的大小亦知其十之七八了。从这点看来,可知用对数,比用表示频率比的分数,更便于直接表示出音程的大小。所以,如果我们径用对数来代表音程,则对于 音 程 的 计算,将有极大的方便。

下面先讲对数的原理, 再讲对数的用法。

§ 34. "对数" (logarithm) 的定义是,若干乘幂的某数等于它数时,则表示若干乘幂的指数,各为以某数为"底"所成它数的"对数"。例如:

#### $10^{a} = A$

a 就是以10为底所成的 A 的对数 (A 称为"真数")。我们前 曾

查出**十**的小数1.125的对数为 0.05115 [§30], 这就是根据真数查 出以10为底的对数:

用数学的符号和表达式,亦可表示如下:

$$\log_{10} 0.05115 = 1.125$$
  
 $glg 0.05115 = 1.125$ 

§ 35. 对数有一种特殊的性质, 即:

(1) 两真数相乘积的对数,等于该两真数的对数相加。如下:

$$10^{a} = A$$
  $10^{b} = B$   
 $A \times B = 10^{a} \times 10^{b} = 10^{a+b}$ 

即 $\log_{10}(\mathbf{A} \times \mathbf{B}) = a + b = \log_{10}\mathbf{A} + \log_{10}\mathbf{B}$ 

(2)两真数相除商的对数,等于该两真数的对数相减(以除数的对数减去被除数的对数)。如下:

$$10^a = A$$
  $10^b = B$ 

$$\frac{A}{B} = \frac{10^a}{10^b} = 10^{a-b}$$

即 
$$\log_{10} \frac{A}{B} = a - b = \log_{10} A - \log_{10} B$$

(3)一真数的若干乘幂的对数,等于该真数的对数和幂指数相乘。如下(n 为幂指数):

$$10^a = A$$
  $A^n = (10^a)^n = 10^{a \times a}$ 

 $\mathbb{H}_{\log_{10}\mathbf{A}} = a \times n = n\log_{10}\mathbf{A}$ 

(4)一真数的方根的对数,等于以该真数的对数除以根指数。如下:

$$10^{a} = A \qquad \sqrt[n]{A} = \sqrt[n]{10^{a}} = 10^{\frac{a}{n}}$$

$$\text{RD log}_{10} \sqrt[n]{A} = \frac{a}{n} = \frac{1}{n} \log_{10} A$$

由上所述,可知对数把真数的乘除关系,变为加减关系,把 真数的自乘变为乘,把真数的开方变为除。

§ 36. 因为对数有上举的特殊性质,所以,应用对数来代表音程的大小,有极大的方便。即对于音程的相加,不必再用乘式,而可以改用加法;对于音程的相减,不必再用除式,而可以改用减法;对一音程的递加若干次(如五度相生律上所见的),不用自乘,而可乘以递加次数之数;又对一音程均分为若干音程(如平均律所见的),不用开方,而可除以均分之数。总而言之,对数对音程的计算,方法比较简单;对表达音程的大小,方法比较直接。

音程值有四种,即对数值、八度值、音分值和平均音程值; 将分述于下。

### 对 数 值

§ 37. 常用对数是以10为底的对数。这种对数应用在音程计算上,通称"对数值"(logarithmic value)。对数值以采用者的姓氏法国沙伐(Félix Savart, 1791—1841)作为计算单位的名称;例如,八度的对数值为301沙伐[详见后文]。在第13例(第40、41两页),各种音程值自右至左第四栏,我们可以看到发生在三种律制中的最普通的音程的对数值。各值小数点后有五位;实际除了作极精细的研究外,用小数点后三位即可;第四位四含五人。一般可以把小数点略去,用其千倍的值。例如:

八 度=0.30103 可以用301

纯五度=0.17609 可以用176

大全音=0.05115 可以用51

§ 38. 欲求两音程之和,把两音程的对数值相加,即得,欲求两音程之差,把两音程的对数值相减,即得。例如:

176沙伐 (纯五度)+125沙伐 (纯四度)=301沙伐 (八度)

要想递加一音程若干次,把该音程的对数值,乘以递加次数之数,即得。例如,在五度相生律,相生五次即乘以5:

176沙伐(纯五度)×5=880

但是这个880已超出好几组(八度),因此必须除以301(八度)。

880÷301=2 (即超出二组) 余278, 即所生之律——五度相生律大七度之值。

即所生之律278沙伐, 为五度相生律大七度之值。

要想把一音程均分为若干音程,把该音程的对数值除以均分之数,即得。例如,要想把八度均分为十二个音程 (即十二平均律)。

301沙伐 (八度)÷12=25沙伐

这个25沙伐即十二平均律半音之值。

§ 39. 音程值既然用以表示音程的大小,所以同度记作 0; 而音阶的第一音也作 0。记各种律制时,出发之音都记作 0。

音阶中各音的音程值,一般指与主音的距离。但是音程值也 常记示音阶中相邻两音的音程。

音程值中的对数值,有一个缺点,即不能明示八度,因此不 为世所通用。

## 八 度 值

\$ 40. "八度值"就是为免除对数值不能明示八度的 缺陷,把八度改用 1。因其意义重在八度,所以通称"八度值"(Ok-tavenmass)。德国音乐学①家里曼(Hugo Riemann, 1849—1919)、德国音乐教育兼语言学家爱兹(Carl Eitz, 1848—1924),都用这种音程值。

八度值是以2为底的对数(常用对数以10为底),非如常用对数查表即知,但可以从常用对数换算而得。例如,欲求八度值的纯五度的音程值。

则 
$$x = \frac{1}{0.30103} \times 0.17609 = 0.58496$$

这等于把常用对数的纯五度之值乘以<sub>0·30103</sub>(即3.32193)。 所以,我们可以把3.32193作为"比例常数";各音程的常用对数 之值乘以这个比例常数,即得各该音程的八度值。

八度值除由频率比换算而得外,也可以直接进行计算,以获得各音程之值[参看§38]。例如,十二平均律可用1除以12,把

① "音乐学"(musicology) 是从自然科学和社会科学内有关部门的角度对 音乐所进行的科学研究的总称;内容包括音响学、音响生理学、音响心理学、音乐心理学、音乐理论(和声学、对位法、曲式学、配器法)、音乐史、比较音乐学和音乐美学等。音乐学的内容范围比一般所称"音乐理论"较广。音乐学发生于十 九世 纪后 半叶,至二十世纪初期趋于系统化。音乐学家对音乐学中繁多的内容,常有所侧重,或有所选择地进行研究。

所得之数作为半音之值,然后乘以各音程内所含的半音之数,以 获得各该音程的八度值。

八度值与对数值一样,除作极精细的研究外,用小数点后三位即可,第四位四舍五人。一般用其千倍的值。这种千倍的八度值,称为"千分八度值"(Milioktavenmass),即:

八度 =1000 五度 =585 大全音=170

看第13例自右至左第三栏。这种音程值的用法,与对数值完 全相同。

§ 41. 八度之值既以1代表八度,因此超出1(在千分八度值,超出1000),就表示超出一组,超出2,就表示超出二组;以下依次递加。这是这种音程值的最大的优点。例如在五度相生律,不必事先管它会超出几组,只要看纯五度的音程值乘以相生几次之数后的答数,其整数(在千分八度值为千位或万位)是何数,即知超出几组,而余下之数,就是相生若干次之后所得的音的音程值。例如,欲求五度相生律生到七次之后,结果怎样。

0.58496 (纯五度)×7=4.09472

整数 4 表示超出四组。去掉 4 , 余下0.09472, 就是所 求 之 音 (五度相生律大半音)的音程值。八度值的全音(大全音)之值是0.16992,则五度相生律半音(小半音)为全音的二分之一强。

# 音 分 值

§ 42. 自从十二平均律通行以来,理论家常用十二平均律为

(

标准,以计算其它各种律制中的各种音程,于是有"音分值"的产生和盛用。音分值为英国比较音乐学①家、音响学家兼语音学家埃利斯(Alexander Ellis, 1814—1890)所倡用,今日在国际间广泛使用。

音分值就是以1200为八度之值(12代表十二平均律中十二个半音),以 100 为平均律半音之值,其它各音程视所含半音之数而递增。由于以一百分为半音之值,所以称每一分为"音分"(cent)。"音分值"便由此而得名。

各音程的音分值,都可以从常用对数换算而得。先求出比例常数,再把各音程的常用对数之值乘以比例常数,即得各该音程的音分值。比例常数是:

1200 (音分值的八度之值) 0.30103(常用对数的八度之值)=3986.313

一把常用对数的纯五度(指五度相生律或纯律的纯五度)之值 乘以比例常数,即得音分值的纯五度之值。

 $0.17609 \times 3986.313 = 701.950$ 

看第13例自右至左第二栏。

音分值除作极精细的计算外,常把小数点后之数省去(用四舍五人法)。这样,上面的纯五度的音分值701.950就变成702音分了。

又, 音分值除由频率比换算而得外, 也可以直接进行计算, 以获得各音程之值[参看§38]。

§ 43. 十二平均律纯五度包含七个半音,照音分值是 700 音

① "比较音乐学" (comparative musicology) (今日通称"民俗音乐学" [ethnomusicology])是本世纪初发达起来的音乐学中的一门,它把世界各地区、各民族的音乐,就律制、音阶、曲调、节奏、乐器以及审美观点等方面进行 科 学 的 研究。既作相互的比较,也作历史的研究。

分,现在五度相生律(或纯律)纯五度是 702 音分,比平均律纯五度多 2 音分。这表示五度相生律纯五度比平均律纯五度高"半音(平均律半音)的百分之二"。所要注意者,音分值以平均律半音为标准,所以多 2 音分,就表示高"平均律半音的百分之二"。

再看音分值的普通音差,它是21.526音分,即22音分;仅及平均律半音的五分之一强。又最大音差是23.878 音分,即 24 音分;仅及平均律半音的四分之一弱。又纯律大三度,它是386.314音分,即386音分。平均律大三度包含四个半音,是400音分;比纯律大三度多14音分。这表示平均律大三度比纯律大三度高"平均律半音的七分之一弱"。

由上所举各例可知,如果用平均律为标准来计算其它各种律制的音程,音分值有很大的方便。

音分值在运用上有很大方便,而且在国际间广泛使用,所以本书采用这种音分值,并在书后附 ◆音分值和频率对照表>(附录一),供读者查对之用。

§ 44. 这里讲述在音律测算上如何应用音分值问题,这对一般音乐工作者是会有参考价值的。

常见的音分值应用问题可以分为两部分来讲。先讲已知两音 频率,如何算出两音相距多少音分值的问题,亦即从频率比如何 换算成音分值的问题。

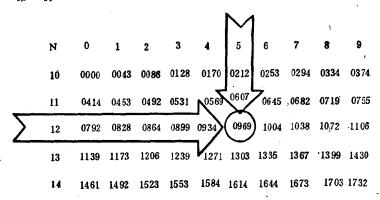
设有两音,已知其频率各为 327Hz 和 261.63Hz,试求两音相距多少音分?

第一步, 先求两音的频率比(把较大的数作为分子), 即:

$$\frac{327 \text{Hz}}{261.63 \text{Hz}} = 1.25$$

第二步,从对数表上查出这一频率比 1.25 的对数 值,如下图:

第 8 例



上图中两个箭头所指的数为"0969",只要在它前面加一小数点,写成"0.0969",即所求1.25的对数值。

第三步,再将0.0969乘以固定的比例常数3986.313,即得音分值的数值。

经过上面的三步运算,可知 327Hz和261.63Hz 两音之间 相 距386.3音分。

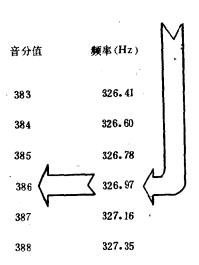
如果把上面的三步运算简化而成公式,就是:

音分值=3986.313×
$$\log_{10}\left(\frac{F_2}{F_1}\right)$$

上式中3986.313是固定的比例常数[ $\S42$ ], $F_1$ 、 $F_2$ 代表两音的频率数 (其中  $F_2$ 是较大的频率数), $\log_{10}\left(\frac{F_2}{F_1}\right)$ 表示两音频率比的对数。

上面讲述的换算方法,对于任何频率的两音都可以适用,但是一般应用时,为了避免繁复的计算,可以采用查表的方法。本书后面附有一份从中央C音(频率为261.63)算起的《音分值和频率对照表》(附录一)。如果已经知道某音的频率,要想查出该音与中央C相距多少音分,可从表上很容易地查得。譬如上例,两音中较低的音正好是中央C(频率为261.63Hz),只要从表中"频率"一栏中找到327Hz,就可以查到该音与中央C相距的音分值[见下图]。当我们找327Hz时会发现,表中有时没有该数,而只有它的近似值(326.97Hz)。如果我们不要求更高的精确度时,可以根据近似值而查到它左边所记的"386音分"作为答数。上面用公式计算出的答数是386.3 音分,可见用公式计算比查表要精确一些,但不那么方便。查表方法见下图:

第9例



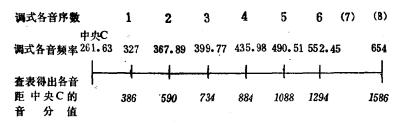
关于查表,还有一点要说明。如果有一个音其频率距中央C超过一个八度,就会查不到。例如求频率为551.85Hz的一音与中

央C相距多少音分? 这就需要先把该音移低八度来查表,查到音分值后再移回原来的高度; 这就是说,在查表前先把频率除以2,即<sup>551:85</sup>=275.93,根据275.93查表得92音分,然后把查得的音分值加上1200音分,即92+1200=1292音分。这就得出,频率为551.85Hz的一音与中央C相距1292音分,或一个八度加一个半音左右。

§ 45. 下面讲述第二部分应用音分值的问题。常见的应用是,设有一位音乐工作者对一首乐曲进行了测音,已得出该乐曲所依据的调式内各音(设有七个音)的频率〔下例第二行〕,如何对这个测音结果进行整理,以得出各音之间的音程关系,弄清该调式的构造。

第一步,查表得出各音距中央C音为多少音分。

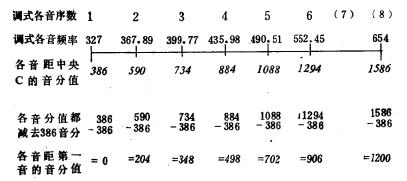
第10例



这就好比一条铁路起点为甲站(即相当于上例中的中央 C),途经乙、丙、丁等各站,现已知道乙、丙、丁……等站各离甲站 386 里、590 里、734 里、884 里……欲求以后各站离 乙 站 的 距 离,以及各邻站之间的距离。显然,这只要做一番加减法,就可以得出。

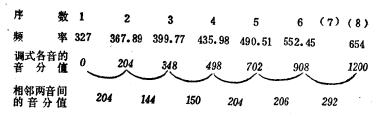
第二步,把各个音分值都减去第一个音分值 (386音分),所得的一系列音分值就是各音距第一音的音分值。

第11例



整理后的结果如下。

第12例



从上面的调式各音的音分值看来,可知该调式符合于带中立音的六声徵调式[参看第九章, §212, 第117例(1)]。

这种测算法,在本书各章中经常可以看到,特别在第九章中可以看到详细的具体测算法。

# 平均音程值

§ 46. 另外还有一种与音分值有同样的方便的音程值,它就是"平均音程值"。平均音程值为日本音乐学家田边尚雄(Tanabe Hisao, 1883— ) 所创用,发表于1909年。我国音乐学 § 46

家王光祈(1892-1936)曾一度采用这种音程值。

音分值以十二平均律的半音为标准,平均音程值则以十二平均律的全音为标准,全音作1,半音作0.5,其它各音程视所含半音之数而递增,八度作6。音乐理论家习惯用"全音"、"半音"这种称呼,所以用1代表全音(平均律全音),用0.5代表半音(平均律半音),在感觉上有便利之处。

平均音程值以 6 为八度之值,即为音分值之半,所以各音程都可以由音分值除以 2 而得。例如:

701.950 (音分值的纯五度之值)÷2=350.975

把上面的答数的小数点移前二位,变为 3.50975 就是平均音程值的纯五度之值。但是平均音程值一般根据常用对数 换 算 而得,即先求得比例常数,再把各音程的常用对数之值乘以比例常数,即得各该音程的平均音程值。比例常数是:

6 (平均音程值的八度之值) 0,30103 (常用对数的八度之值) =19,93156

把常用对数的纯五度(指五度相生律或纯律的纯五度)之值 乘以比例常数,即得平均音程值纯五度之值,

 $0.17609 \times 19.93156 = 3.50975$ 

看第13例自右至左第一栏。

平均音程值除作极精细的研究外,用小数点后二位即可(第三位四舍五人)。所以纯五度作3.51。

§ 47. 平均律纯五度包含七个半音,照平均音程值是3.50; 现在五度相生律(或纯律)纯五度多0.01, 这表示五度相生律纯 五度比平均律纯五度高"平均律全音百分之一"。所要注意者, 平均音程值以平均律全音为标准,所以多0.01, 就表示高出"平 均律全音的百分之一"。

再看平均音程值的普通音差 0.10763, 即 0.11; 仅及平均律全音的十分之一强。又最大音差 0.11939, 即 0.12; 仅及平均律全音的八分之一弱。又纯律大三度 1.93157, 即 1.93。平均律大三度包含四个半音,平均音程值是2.00; 比纯律大三度多0.07。即平均律大三度比纯律大三度高"平均律全音的十四分之一弱"。

由上所述可知,对音程值首先要知道它是何种音程值。各种音程值各有其特殊的用处。仅为比较音程的大小,可以用对数值。研究纯律或五度相生律而且经常要与十二平均律作比较,则音分值和平均音程值有其便利处,而音分值最为方便。

#### 第13例

#### 各种音程值(一)

	各种首程值(一)								
所	在有			頻率比	化为	对数值	八度值	音分值	平均
五 度 相生律	纯律	十二平均律	举 例	烈举比	小 数	AJ教IB	八茂祖	ниц	音程值
	普 通 音 差		c1Ē1	<u>81</u> 80	1.01250	0.00540	0.01794	21.526	0.01763
最大音差			er—#b	531441 524288	1.01364	0.00599	0.01989	23.878	0. 11939
	小半音		c¹—Îç¹	25 24	1.04186	0.01772	0.05886	70.637	0. 35319
五度律 小半音			c:-bd:	256 243	1.5349	0.02263	0. 07518	90.210	0 <b>. 4</b> 5105
		平均律 半 音		89 84	1.05946	0.02508	0.08333	100.000	0. 50000
	大半音		cı—pg,	16 15	1.06666	0.02802	0.09308	111.696	0.55848
五度律 大半音			to1-#c1	2187	1.06787	0.02851	0.09471	113.650	0.56825
	小全音		c'd'	10 9	1.11111	0.04575	0. 15198	182.374	0. 91187
		平均律 全 音		449	1.12256	0.05017	0.16666	200.000	1.00000
大全音	大全音		c1-d1	8	1.12500	0.05115	0.16992	203.900	1.01950
五度律 小三度			c¹be¹	32 27	1.18519	0.07379	0.24513	294.150	1.47075
		平均律 小三度		44 37	1.18920	0.07525	0.24999	300.000	1.50000
	纯 律 小三度		cı—þēi	<u>6</u> 5	1.20000	0.07918	0.26303	315.636	1.57818
	纯 律 大三度	-	c₁—Ē₁	5 4	1.25000	0.09691	0.31693	<b>386.</b> 314	1.93157
	· .	平均律 大三度		63 50	1.25992	0.10034	0.33333	400.000	2.00000
五度律 大三度		<u> </u>	c1-e1	81 64	1.26562	0.10230	0.33983	.407.800	2.03900
备注:		音名的记》 乱,不举3	去,一般与3 实例。	丘度相生	律同;		1	1	比例常数 19.93156

#### 各种音程值(二)

, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	一件首在1	旦(一)							
所 五 度 相生律	在作	十二平均律	举例	频率比	化为小数	对数值	八度值	音分值	平 均音程值
44年年	纯四度	平均伊	c'—f'	4/3	1.33333	0.12493	0.41501	498.010	2.49005
	-	平均律纯四度		303 227	1.33484	0. 12542	0.41666	500.000	2.50000
		平均律		433	1.49830	0.17559	0.58333	700.000	<b>3.5000</b> 0
纯五度	纯五度		C1g1	$\frac{3}{2}$	1.50000	0.17609	0.58496	701.950	<b>3.5097</b> 5
五度律;		-	c ba1	128 81	1.58025	0.19872	0.66013	792.160	3.96086
		平均律 小六度		100 63	1.58740	0.20068	0.66666	800.000	4.00000
· '	纯 律 小六度		c1	<u>8</u> 5	1.60000	0.20412	0 <b>. 67 9</b> 07	813.686	4.06843
-	纯 律 大六度		C1	<u>5</u> 3	1.86666	0. 22184	0.73694	8 <b>84 .</b> 324	4.42162
		平均律 大六度		37 22	1.68179	0.22576	0.74999	900.000	4.50000
五度律 大六度			c1-ai	27 16	1. <b>687</b> 50	0. 22724	0.75488	905.850	4.52925
五度律 小七度			aı—ppı	1 <u>6</u> 9	1 <b>.7</b> 7778	0.24988	0.83008	996.10	4.98050
		平均律 小七度		<u>98</u> 55 -	1.78179	0.25085	0.83333	1000.000	5.00000
	纯 律 小七度		c1 <b>bB</b> 1	<u>9</u> 5	1.80000	0.25527	0.84799	1017.586	5.08793
	<b>纯</b> 律 大七度		с'—b'	1 <u>5</u> 8	1.87500	0. 27 <b>300</b>	0.90689	1088.263	5.44132
	4	平均律 大七度		1 <u>68</u> 89	1.88774	0.27593	0.011666	1100.000	5.50000
五度律大七度			c¹—♭b¹	243 128	1.89844	0.27839	0.92478	1 <b>109.</b> 750	5.54875
纯八度	纯八度	纯八度	c1c1	2	2,00000	0.30103	1.00000	1200.000	6.00000
备注:		名的记法 ,不举实	,一般与五 例。	度相生	<b>律河</b> ;			比例常数 3986.313	比例常数 19.93156
	the part of the last		-						10.00100

# 振动体长度与音分值的关系

§ 48. 中国古代用振动体的长度来计算音律,非如今日用频率的多寡来计算音律。但是两者有密切的关系。例如在五度相生律,音阶的属音(第五音)与主音(第一音)成纯五度时,这个属音与主音的频率比为 ₹ , 其振动体的长度比则为 ₹ 。 即频率比与振动体长度比,互成"倒数"关系。从第一章 § 6 我们知道,弦的长度与频率成反比,例如,弦长占全弦的 ₹ 时,频率为全弦的三倍。所以只要把振动体长度比颠倒过来,就是频率比,再由频率比经过换算,就可以获得音分值(由频率比换算为 音 分值,看 § 42)。我们所以能够知道中国古代律制的音分值,就是经过这种"倒数换算"而得。很多的实例可以在第六章 < 中国律学简史 > 中看到,这里就不举例说明了。

又,这里所指的振动体,是弦,而不是管(气柱)。关于这个问题,也将在第六章中加以研究。

# 第三章 五度相生律

§ 49. 在讲述五度相生律之前,先来简单地说明三种律制——即"五度相生律"、"纯律"和"十二平均律"的构成。五度相生律,就是由一律出发,每隔五度(纯五度,即第2例中二倍音与三倍音的距离)产生一律,继续相生,而得各律。纯律是于五度相生律的纯五度之外加入大三度(纯律大三度,即第2例中四倍音与五倍音的距离),作为生律的基础,其各律多符合于倍音列[详见第四章]。十二平均律是把一组(八度)均分为十二律,即十二个比例相等的半音,合两个半音为一个全音〔详见第五章〕。

为什么着重讲这三种律制呢? ——这是因为,这三种律制在 今日国际间广泛应用,影响较大。此外,把这三种律制搞清楚之 后,对于理解其它民族律制和乐制,有很大的方便。

§ 50. 关于五度相生律及其特有音程的名称问题,有稍加说明的必要。五度相生律,在欧洲因为最初由古希腊哲学家兼数学家毕达哥拉斯〔§158〕所提出,因此通常称为"毕达哥拉斯乐制";同时对这种乐制所特有的音程,都冠以"毕达哥拉斯"之名。

毕达哥拉斯早在公元前第六世纪时提出五度相生律,我国在此前或此后也提出这种律制〔§119〕,古代阿拉伯人也很早就提出类似的律制,所以有人对这种律制所特有的音程和音阶,都冠以"古代"二字。

\$ 49

本书增订版对本律制及其特有音程,既不冠用"毕达哥拉斯"之名,也不冠用"古代"二字,因为这种律制既非由 毕 达 哥 拉斯一人所发现,同时这种律制源远流长,至今并未消声匿迹,相反,在今日弦乐器(如小提琴、二胡之类)上,这种乐制还有很大势力。本书增订版根据本律制生律的特点,采用"五度相生律"这名称。同时对这种律制所特有的音程,冠以"五度律"三字("五度相生律"的简称),以区别于它种律制,必要时用国际通用的名称作为副名,以便于参考对照。例如,"五度律大音阶";"五度律小半音"(或"林马半音")。另有一些音程则袭用国际通用的名称,例如"最大音差"。

# 五度相生律和五度相生法

§ 51. "五度相生律"是应用倍音列[第2例]中三倍音(即纯五度)而构成的一种律制。即由一律出发,根据三倍音对二倍音的距离(纯五度)产生次一律,再由此律依同理产生再次一律,如此继续相生,产生许多律,最后作八度移动,以归于一组之内。

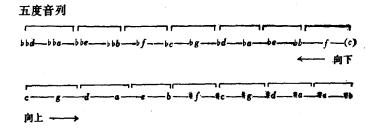
这种每隔五度产生一律,继续相生而得各律的做法,称为 "五度相生法"。当五度相生法严格按照纯五度的高度而获得的 律制,称为"五度相生律"。在一般的情况(如在本章所述的), 五度相生律和五度相生法是一致的,由五度相生法而获致五度相 生律。但是在个别情况,五度相生法也可以应用于别的律制上, 例如在十二平均律上也可以应用五度相生法[详见第五章,§99]; 这时五度相生法就不获致五度相生律了。

M

从本章起,音名只在需要区别高低音的位置时,才用分组记法(例如第一、第二章所用的  $c^1$ 、 $d^1$ 、 $e^1$  ……),一般都用不分组的记法,即不分组别,一概以斜体小写字母 c、d、e、f、g、a、b 为记(如下例所记)。

下例明示五度相生法。第二行从 c 音起,向上每隔五度,产生一律。第一行则从 c 音起,向下每隔五度,产生一律。向上向下,实际都是一样。下例也可以看作由第一行左端 b d 音起一直向上生,至第二行右端 b 音为止。不过,从 c 音起,一向上生,一向下生,较便于说明。这种据以相生的五度,称为"五度级"; c—g 相隔一个"五度级",c—d 相隔两个"五度级"。例中各律间的横线,即表示一个五度级。图例上方的方括弧 一表示一组。这种五度级的连续,称为"五度音列"。

第14例



# 五度律大音阶及其特有音程

§ 52. 在五度音列[第14例]中,从主音 c 起,向上连取五律,向下取一律,可以构成一种音阶,这种音阶称为"大音阶",即"五度律大音阶",如下例:

第15例

序 数 1 2 3 4 5 6 7 8 音 名 
$$c^1$$
  $d^1$   $e^1$   $f^1$   $g^1$   $a^1$   $b^1$   $c^2$   $rec{E}$  注 1  $\left(\frac{3}{2}\right)^2 \left(\frac{3}{2}\right)^4 \frac{2}{3} \times 2 \frac{3}{2} \left(\frac{3}{2}\right)^1 \left(\frac{3}{2}\right)^5 \frac{2}{2}$  2 与主音的 1  $\frac{9}{8}$   $\frac{81}{64}$   $\frac{4}{3}$   $\frac{3}{2}$   $\frac{27}{16}$   $\frac{243}{128}$   $\frac{2}{1}$  音 分 值 0 204 408 498 702 906 1110 1200 類  $\frac{1}{2}$   $\frac{2}{2}$   $\frac{2}{$ 

上例中的第一音 c¹, 是"中央 C" 音。例中有的音 其 频率 与第 2 例中的不同; 例如 e¹音, 在第 2 例(五倍音) 频率是326.97; 在上例,频率是331.15。即上例中的 e¹音, 比第 2 例中 的 e¹音稍高。两个 e¹(有一个是 e¹)的高度所以有不同,由于它们的产生法各异所致。这个问题是本书的重要论题之一,以后会详细讲述[见第五章]。

§ 53. 现在把上例中的"产生法"和"音分值"两栏,加以 说明。

先讲产生法。欲求一律的上方五度的另一律,乘以豪;生律一次,乘以豪一次;生律二次,乘以豪二次方,即乘以(豪)²,多则递加。再作八度移动。移低一组(即移低八度),除以2;移低二组,除以2二次方(即除以2²)[§31]。其余类推。例如 e¹音,由上生四次,移低二组而得;所以作。

$$\frac{\left(\frac{3}{2}\right)^4}{2^2}$$

欲求一律的下方五度的另一律,乘以 § [§29]; 生律一次,

乘以 $}$ 一次,多则递加。再作八度移动。移高一组,乘以2,移高二组,乘以2的二次方(即乘以 $2^2$ )。余类推。例如 $f^1$ 章,由下生一次,移高一组而得,所以作。

$$\frac{2}{3} \times 2$$

"与主音的频率比"一栏,即由产生法的公式演算而得。例如 e¹音。

$$\frac{\left(\frac{3}{2}\right)^4}{2^2} = \frac{81}{64}$$

音分值除由频率比换算而得外,也可以直接计算[参看§42]。 五度相生律用音分值直接计算时,即以纯五度的音分702为基础,向上生律二次,乘以2,多则递加,然后除以1200音分, 所得的商就是移低几组之数,余数就是所求的音分。例如,欲求 b'音距 c'音的音分。

702×5÷1200=2(移低二组)……余数1110(b¹音的音分)

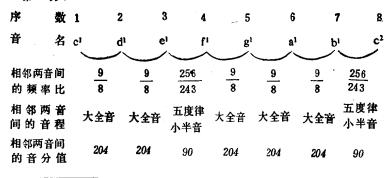
上面是求一律的上方五度的另一律(包括递加五度的各律)的音分的算式。欲求一律的下方五度的另一律的音分,则先照上式计算,再从1200音分减去照上式求得的音分,即得下方五度递加的各律的音分。例如,欲求'e'音距 c'音的音分。

§ 54. 五度律大音阶中的各音程,各有其特点,并有一定的名称。

c-d ( $\P$ , 计204音分) 称为"大全音" (major tone) (在五度音列上,相距两个"五度级")

- c-f(⅓, 计498音分) 称为"纯四度"(相距一个五度级) c-g(⅙, 计702音分)称为"纯五度"(相距一个五度级)
- c—c<sup>①</sup>(子,计1200音分)称为"纯八度"(等于同度,无距离)这些音程并见于纯律大音阶,即这些音程同时存在于五度相生律和纯律两种律制中。此外,五度律大音阶中有三个音程,都为五度相生律所特有,亦即为五度律大音阶所特有。这三个音程就是,
- c-e ( $\frac{81}{64}$ , 计408 音分) 称为 "五度律大三度" (相距四个五度级)
- c-a ( $\frac{27}{16}$ ,  $\frac{1}{16}$ ) 称为"五度律大六度"(相距三个五度级)
- c-b ( $\frac{243}{128}$ , 计1110音分) 称为"五度律大七度"(相距五个五度级)
- § 55. 现在来看五度律大音阶中相邻两音间的音程。欲求相邻两音间的音程,用音分值直接计算,较为简便,即由较大音程的音分,减去较小音程的音分而得。如下例:

第16例



① 在 c-c, 后面的 c 音比前面的 c 音高八度。

大全音由两个五度级构成 [854],而五度律小半音则由五个五度级构成。即前者由"相生两次,移低一组"而成,后者由"相生五次,移低三组"而成。在五度音列上,凡"相距两个五度级"的两律,都可以构成大全音,例如 c-d,d-e,f-g,g-a,a-b,凡"相距五个五度级"的两律,都可以构成五度 律 小半音,例如e-f,b-c。

大全音的产生公式已见第15例。五度律小半音的产生公式如 下:

$$\left(\frac{2}{3}\right)^5 \times 2^3 = \frac{256}{343}$$
(五度律小半音)

大全畜比五度律小半音大多少呢?根据十二平均律,"全音"是"半音"的二倍,半音为全音之半。但是,在五度律大音阶中,全音(大全音)是半音(五度律小半音)的二倍强〔详见第16例〕。即在五度律大音阶,全音格外大,半音格外小。关于这,以后还会讲到[§64]。

§ 56. 在五度律大音阶的各音之间,还有两种音程要加以说明。这两种音程就是"五度律增四度"和"五度律减五度"。增四度发生在大音阶的第四音和第七音之间(例如 f¹—b¹)。减五度发生在第七音和高一组的第四音之间(例如 b¹—f²)。两种音程互为转位音程。产生公式如下。

$$\frac{\left(\frac{3}{2}\right)^6}{2^3} = \frac{729}{512}$$
(五度律增四度,例如  $\mathbf{f}^1 - \mathbf{b}^1$ )

$$\left(\frac{2}{3}\right)^6 \times 2^4 = \frac{1024}{729}$$
 (五度律减五度,例如  $b^1 - f^2$ )

两种音程都由六个五度级构成。在五度音列上,凡"相距六个五度级"的两律,都可以构成五度律增四度或减五度。

用音分值直接计算,则如下:

=612音分 (五度律增四度 f'-b')

(498音分 + 1200音分)[ $c^1 - f^2$ ] - 1110音分[ $c^1 - b^1$ ]

=588音分 (五度律减五度  $b^1-f^2$ )

即在五度律大音阶,增四度比减五度大一个"最大音差" (comma maxima):

> 612音分 (增四度) -588音分(减五度) =24音分(最大音差)

所称"音差"(comma), 即一种微小的音程。

## 五度律小音阶及其特有音程

§ 57. 在五度音列[第14例]中,从主音 c 音起,向上连取二律,向下连取四律,可以构成一种音阶,这种音阶 称 为 "小 音阶",即 "自然小音阶",这是 "五度律自然小音阶",看下面第 17.例。

从例中可知,这个小音阶与五度律大音阶[第16例]一样,构造单纯,各相邻两音间仅有两种音程,即大全音和五度律小半

音; 只是全音和半音的位置与大音阶不同罢了。

§ 58. 小音阶除自然小音阶之外,还有"和声小音阶",这是在自然小音阶的基础上换用大音阶的"导音"(音阶的第七音)而成。在和声小音阶中,第六音和第七音( a—b) 之间发生一种特殊的音程"增二度"。这是和声小音阶特有的音程,它使音阶构造变得复杂化。

这个增二度音程,由大全音加五度律大半音[§61]而成:

$$\frac{9}{8}$$
(大全音)× $\frac{2187}{2048}$ (大半音)= $\frac{19683}{16384}$ (五度律增二度)

用音分值计算,即:

在五度音列上,增二度由九个五度级构成,凡"相距九个五度级"的两律,都可以构成增二度。产生公式如下。

$$\frac{\left(\frac{3}{2}\right)^9}{2^5} = \frac{19683}{16384} (五度律增二度)$$

在十二平均律,增二度与小三度是相同的,因为两种音程都由三个半音构成。但是在五度相生律,增二度大于小三度,增二度比小三度大一个最大音差。

增二度转位后成为减七度。减七度和大六度都由九个平均律 半音构成。但是在五度相生律,大六度(频率比是<sup>2.7</sup>。 计 906 音 分)比减七度(频率比是<sup>3.2.7.6.8</sup>。 计882音分)大一个最大音差。

增五度(这音程也常发生在和声小音阶中)和小六度都由八个平均律半音构成。但是在五度相生律,增五度(频率比是 65666,计816音分)比小六度(频率比是 816 ,计792音分)也是大一个最大音差。

在五度律自然小音阶的基础上换用大音阶的导音而成的五度 律和声小音阶,如下例,

第 18 例	J						
序	数 1	2 3	3 4		5 6	7	8
音	名 c <sup>i</sup>	di ba	e <sup>1</sup> 1	1	g¹ þ <sub>á</sub>	s <sub>i</sub> Pi	c²
与主音(類 率 )	1 .	$\frac{9}{8}$ $\frac{3}{2}$	$\frac{2}{7}$	4 -	$\frac{3}{2}$ $\frac{12}{8}$		
从主音起	ÁĆI		94 49			92 11	_
相邻两音		256 243	9 8	9 8	256 243	19683 16384	256 243
相邻两音	间 大全音	五度律 小半音	大全音	大全音	五度律 小半音	五度律 増二度	五度律 小半音
相邻两音的 音 分 化		90	204	204	90	318	90

习惯把小音阶分为三种;即在自然小音阶与和声 小 音 阶 之外,还加一种"曲调小音阶",如下:

上 行 下 行 c¹ d¹ be¹ f¹ g¹ a¹ b¹ c² c² bb¹ ba¹ g¹ f¹ ee¹ d¹ c¹

把五度律大音阶中的各音,轮流作为主音,可以构成各种音阶,这种音阶一般称为"调式"。各种调式都与五度律大音阶或自然小音阶一样,构造单纯,只是全音和半音的位置不同罢了。 又在五度音列上,从c音起,向上连取四律,把各律轮流作为主音,可以构成各种"五声调式"。关于这些调式,详见第六章和第七章。

# 五度律大半音和最大音差

§ 59. 在五度音列[第14例]上,从任何一音起,向上连取五律,向下取一律,都可以构成以起音为主音的各调大音阶(五度律大音阶)。第14例所示的大音阶,以c音为起音,所以是C调大音阶。以别的音为起音而构成的各调大音阶,其构造都与C调大音阶完全相同。例如,在五度音列上,从g音起,向上连取五律,向下取一律,可以构成五度律G调大音阶。从e音起,向上连取五律,向下取一律,可以构成五度律E调大音阶。从ba音起,向上连取五律,向下取一律,可以构成五度律E调大音阶。从ba音起,向上连取五律,向下取一律,可以构成五度律bA调大音阶。各音阶合并作图如下:

§ 60. 上例各调大音阶中的升降音 ('c、'd、'd、'e等),对 C 调大音阶来说,除了作为转入它调的"转调音"之外,也可以作为借自它调的临时"变化音"。一个升音或降音,作为转调音和作为变化音,在音程上是相同的。

在五度律C调大音阶, c-d 之间有两个升降音,即 'c 音和 'd 音。'c 音由 c "上生七次,移低四组"而得, 'd 音由 c "下生 五次,移高三组"而得。即:

$$c = {}^{4}c_{1} \frac{\left(\frac{3}{2}\right)^{7}}{2^{4}} = \frac{2187}{2048}$$
(音分值是114音分)

 $c-^{b}d$ :  $\left(\frac{2}{3}\right)^{b} \times 2^{3} = \frac{256}{243}$ (音分值是90音分)

登是五度律小半音,其产生公式已见 §55, 与这里正相同。

§ 61. <sup>2187</sup>是什么呢? 这称为<u>"</u>阿波托美半音" (apotome)。

① 这个g 音比音阶第一音 g 音高八度。下面的 e 音和 a 音同此。当音名采用不分组记法时,大音阶和小音阶中的第八音都比第一音高八度。

这是一个比五度律小半音(90音分)稍大的半 音(114 音分),可以称为"五度律大半音"。五度律大半音在五度音列上是由七个五度级(比五度律小半音多二级)构成。即凡是"相距七个五度级"的两律,都可以构成五度律大半音,例如 d—d、f—f 等等。

这种五度律大半音,在形式上就与前述的五度律小半音有所不同。五度律小半音,是不同音名的半音,例如, $c-^bd$ 、e-f、b-c,两个音的音名是不相同的。而构成五度律大半音的两音,音名却是相同的,例如 $c-^bc$ 、bd-d。

§ 62. 在近代音乐理论上,不同音名的半音称为"自然半音"(diatonic semitone);同音名的半音称为"变化半音"(chromatic semitone)。五度律小半音相当自然半音,五度律大半音相当变化半音。即在五度相生律上,变化半音大于自然半音。

五度律小半音(即林马半音)(相距五个五度级) (如 c-bd)(相当自然半音)=  $\frac{256}{243}$  计90音分

五度律大半音 (即阿波托美半音) (相距七个五度级)、(如 c- c)(相当变化半音) = 2187 2048 计114音分

要注意的是,这只在五度相生律中是如此,——即只在五度 律大小音阶中是如此,如果在纯律或根据纯律构成的音阶中,就 适得其反了〔详见第四章 \$95〕。

§ 63. 既然 c-'c (五度律大半音) 大于 c-'d (五度律小半音),可见'c 音高于'd 音。我们倘能求出五度律大半音比五度律小半音大多少,就可以知道'c 音比'd 音高多少了。

我们知道,五度律大半音的频率比除以五度律小半音的频率 比,即得两种半音的频率比差数[§28]。  $\frac{2187}{2048}$ (五度律大半音)÷ $\frac{256}{243}$ (五度律小半音)= $\frac{531441}{524288}$ 

用音程值计算,即。

114音分(五度律大半音)-90音分(五度律小半音)=24音分

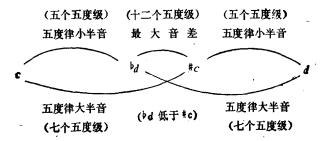
这个 531 441 6 的 频率比(计24音分)就是"最大音差"(comma maxima)。五度律大半音比五度律小半音大一个最大音差,亦即 c 音比 d 音高一个最大音差。

试在五度音列[第14例]上,查看'c和'd两音的位置; 'c和'd(向下)相距十二个五度级。凡"相距十二个五度级"的两律,都可以构成最大音差。所以,不仅'c-'d构成最大音差,他如b-'c、'e-f、'b-c等,都可以构成最大音差①。在近代音乐理论上,'c-'d、b-'c等称为"等音"(enharmonic)。在五度相生律中,——亦即在五度律大小音阶中,'c-'d实际是不等的,而相差一个最大音差;'c音比'd音高一个最大音差,b音比'c音高一个最大音差,'e音比f音高一个最大音差,'b音比 c音高一个最大音差,等等。

§ 64. 现在试在 c—d 的大全音之间,把五度律大小半 窗 和 最大音差的关系,作图示之如下:

① 对于这里所说的最大音差,再用分组记法加以说明,会更为清楚。例如,从 c<sup>1</sup>起上生十二次,到 \*b<sup>1</sup>, 这个 \*b<sup>1</sup>高于 c<sup>2</sup>一个最大音差 (24音分)。可见从 c<sup>1</sup>到 \*b<sup>1</sup>应该有1224音分;只是由于在律学上计算音分时,一般都在一组之内进行,因此从1224音分减去1200音分,成为24音分。又, c<sup>1</sup>一 \*b<sup>1</sup>构成的音程称为"增七 度", 一一严格地说,是"五度律增七度"。

第20例



上例不仅明示大全音内五度律大半音和五度律小半音的高度 关系,而且明示五度律大小半音和最大音差的高度关系。五度律 大半音和五度律小半音合成一个大全音,两个五度律小半音和最 大音差也合成一个大全音。

c-d 大全音之间的两个升降音 c 和 d 的关系是如此,五度 律大小音阶中其它所有大全音之间的两个升降音的关系,都是如此。例如 d-e 之间,d-d 是五度律大半音,d-e 是五度律小半音,d 音比 e 音高一个最大音差;f-g 之间,f-f 是五度律大半音,f-e 是五度律小半音,f-e 是五度律

明白了大全音之间的升降音的高度关系之后,我们对于前述的在五度律大音阶中增四度比减五度大一个最大音差[\$56],五度律小音阶中增二度比小三度大一个最大音差,增五度比小六度大一个最大音差 [\$58]的原因,也就可以理解了。下面算式中加入从c出发的音程(例如增四度 c—'f),可以帮助理解这个问题。

612音分(增四度f-b或c-f) - 588音分(减五度  $b^1-f^2$  或 c-f) = 24音分(最大音差)

318音分(增二度 a-b或c-'d) - 294 音分(小三度c-be) = 24音分(最大音差)

816 音分(增五度 be—b或c—bg) - 792 音分(小六度c—ba) = 24音分(最大音差)

**§ 65.** 现在查看大全音比最大音差大几倍,又五度律大半音和小半音比最大音差大几倍。

先求大全音比最大音差大几倍。

204音分(大全音)+24音分(最大音差)=8.5(即9弱)

即大全音比最大音差大九倍弱,一个大全音约等于九个最大音差。

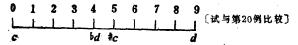
再看五度律大半音和小半音比最大音差大几倍:

114音分(五度律大半音)÷24音分(最大音差)=4.75(即5弱)

90音分(五度律小半音)÷24音分(最大音差)=3.75(即 4 弱)

即一个五度律大半音约等于五个最大音差,一个五度律小半音约等于四个最大音差。今日演奏弦乐器(例如小提琴)的人,有主张把全音(这应当是大全音,例如 c—d)分作九个音差(这应当是最大音差),下方音的升音(例如 c)占五个音差,上方音的降音(例如 d)占四个音差,如下例。

第21例



这不消说就是五度律大小音阶──亦即五度相生律的遗制了。

§ 66. 由于上面 § 64 和 § 65 的说明,我们对于五度律大小音阶中大全音之间两个升降音的高度关系,一定非常清楚了。 这种在大全音之间两个升降音的差别,是五度相生律本身存在的矛盾,是五度相生律的主要问题之一。在五度相生律,'c高于'd,'d高于'e······最后'b高于c。从c起上生十二次,到'b,这'b

不等于 c, —— 高于 c — 个最大音差。即由 c 出发, 生 律 十二次,不能回到原来的 c ,即使再继续生律,也不能回到 c 。

举一个实际例子来说明。一个习惯于用五度相生律的纯五度定弦的人,他给钢琴调音,从c起向上连续用纯五度调音(并利用降低八度,以限制音域的扩张),结果不能回到c(比c稍高),就是这个道理[参看第5例]。

这个"不能回到 c"的矛盾,给"十二律周而复始",想在十二律上循环构成各调音阶的理想,造成很大的障碍。历代音乐家和律学研究者为了音乐实践的需要,力求解决这个矛盾,作过大量的探索工作,关于这,本书将在第六章和第七章中加以详述。

§ 67. 现在把五度相生律 C 调大音阶和 c 调小音阶所包含的音和较常见的升降音(即 C 大调、c 小调的转调音或变化 音)照音的高低次序列表如下。

表中所列各音(各律),既然都是C大(c小)调本身的音或基于C大(c小)调的关系调的音,所以一概视为c音的某种音程。这种音程凡有专名的,都把专名记在音名下面。表中共有二十一律,除了重复c音的八度音之外,实际是二十律。

表中各律,分上下两栏排列。上下两栏同一位置的两律,互成"转位"关系。例如第3律。d与第20律b互成"转位"关系;bd由c下生五次而得,b由c上生五次而得。即生律的次数相同,只是上下方向相反。与转位音程一样,互成转位的两律相加,正是八度;看两律的频率比和音分值,可以明白。记有括号的律,是与C大(c小)调关系较远的调的音;只作为转位律而列入,不作详细的记述。频率一栏表示中央C开始的一组内各音的频率。各律的产生法不另列,参看 §53。

第 22 例

数	1	2	3	. 4		5
名	Cl	#b	þ <b>d</b> 1	∦C¹	(bbe1)	d¹
		最大音差	五度律 小半音	五度律 大半音		大全音
	1	531441	256	2187	•	9
s its		524288	243	2048		8
值	0	24	9 <b>0</b>	114		204
率	261.63	265.28	275.59	279.43		294.34
数	21		20		19	18
名	c² ·	$(bbd^2)$	p <sub>1</sub>	Pc2)	#a¹	₽Pī
	八度		五度律		五度律	五度律
			大七度		增六度	小七度
的	2		243		59049	16
s IE	1		128		32768	9
・ 値	1200		1110		1020	996
	名发 的比 值 率 数名	名名发的比值率 261.63 数名名发的比值率 数名名发的比值率 1 c² 度出出。	名 c <sup>1</sup> *b  是 名 最大音差  出发)  1 的 1 531441 524288  1 值 0 24     率 261.63 265.28  数 21    名 c <sup>2</sup> (bbd <sup>2</sup> )    日 名 八 度    日 的 2    日 出发)    日 出发)    日 比 1	名 c <sup>1</sup> #b bd <sup>1</sup> 最大音差 五度律 小半音  は 的 1 <u>531441</u> <u>256</u> 3 比 1 <u>524288</u> <u>243</u> 分 値 0 24 90  率 261.63 265.28 275.59  数 21 20 c <sup>2</sup> (bbd <sup>2</sup> ) b <sup>1</sup> 社 名 C <sup>2</sup> (bbd <sup>2</sup> ) b <sup>1</sup> 五度律 大七度  は 的 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	名 c <sup>1</sup> *b bd <sup>1</sup> *c <sup>1</sup> は名 最大音差 五度律 九度律 九半音 大半音 1 的 1 531441 256 24288 243 2048 計 値 0 24 90 114 率 261.63 265.28 275.59 279.43 数 21 20 279.43 数 21 20 b <sup>1</sup> bc <sup>2</sup>	名 c¹ *b bd¹ *c¹ (bbe¹)  是名 最大音差 五度律 五度律 大半音 出发)

_									
序		数	6	7		8	9	10	11
音		名	be¹	∦d¹	(bf1)	<b>e</b> 1	f¹	#e¹	$b\mathbf{g}^4$
音 (从	程 c 出	名 发)	五度律 小三度	五度律 增二度		五度律 大三度	纯四度	五度律 増三度	五度律 / 减五度
与	C1	的	32	19683.		81	4	2187	1024
频	率	比	27	16384		64	3	1618	729
音	分	值	294	318		408	498	522	<b>58</b> 8
频		率	310.05	314.38		331.15	348.83	353.69	367.44
序		数	17	16	15	14	13		12
序音		数名	17 a1	16 5561	15 #g <sup>1</sup>	14 ba¹.	13 g 1	(bba¹)	12 #f1
音音	程。出	名名						(bba1)	
音音从与	c出;	名名发的	a¹ 五度律	bb <b>b¹</b> 五度律	*g' 五度律	ba <sup>1</sup> . 五度律	, <b>g</b> 1	(bba1)	#f <sup>1</sup> 五度律
音 (从	c 出	名 名 发)	a <sup>1</sup> 五度律 大六度	bbb <sup>1</sup> 五度律 减七度	*g¹ 五度律 増五度	ba <sup>1</sup> . 五度律 小六度	g: 纯五度	(bba1)	#f <sup>1</sup> 五度律 増四度
音音从与	c出;	名名发的	a <sup>1</sup> 五度律 大六度 <u>27</u>	bbb <sup>1</sup> 五度律 减七度 32768	*8 <sup>1</sup> 五度律 增五度 6561	ba <sup>1</sup> . 五度律 小六度 128	8 <sup>1</sup> 纯五度 <u>3</u>	(bba¹)	#f <sup>1</sup> 五度律 増四度 729

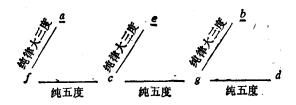
重

# 第四章 纯 律

# 纯律的产生法

§ 68. "纯律" (pure temperament) (亦称"自然律" [natural temperament]) 就是于五度相生律用以构成的倍音列〔第2例〕中的二倍音(即八度)和三倍音(即纯五度)之外,再加入五倍音,作为生律的基础。五倍音可以构成"纯律大三度"(频率比是是,计386音分)。在纯五度c-g之间插入纯律大三度e音,就构成三和弦形式的三音列c-e-g(音名下面的短线,表示低一个普通音差〔详见下文〕)。依同理,在f-c之间插入f上方的纯律大三度a音,就构成f-a-c,在g-d之间插入g上方的纯律大三度b6,就构成g-b-d。把这三个三和弦形式的三音列连接起来,各音照五度音列排成二行,如下。

第 23 例



§ 69. 上述的三个三和弦形式的三音列,与大音阶中三个"正三和弦"(即主音、属音和下属音三个音上构成的大三和弦)有密切的联系。三个正三和弦构成了大音阶,同样,上述的三个三和弦形式的三音列构成了纯律大音阶,如下。

#### 第24例

看上例中产生法一栏。由于 a 音是 f 音的纯律大三度,所以用 f(f) 乘以 f(f) 乘以 f(f) 乘以 f(f) 乘以 f(f) 乘以 f(f) 乘以 f(f) 。

再看音分值一栏。用音分值直接计算时,可以参看五度相生律的音分值计算法[\$53],即于 f 音和 g 音的音分各加入纯律大三度的音分(386),就获得 a 和 b 的音分值。

# 纯律大音阶和普通音差

§ 70. 把上例的纯律大音阶与五度律大音阶 [第 15 例] 相比较,是一件极有意义又极其重要的事。纯律大音阶的第二 (d)、四 (f)、五 (g)、八 (c) 各音,与五度律大音阶 完全相同,但是,第三 (e)、六 (a)、七 (b) 各音就不相同了。两种律制的分歧,就从这里开始。第三、六、七这三个音,在五度相生律上都由五度相生而得,而在纯律上则凭倍音原理,加入纯律大三度而成。这说明,由于律制不同,这三个音(即大音阶中第三、六、七三个音)的生律法就不同,它们的高度也就不同。由于这三个音的高度不同,就在两种律制上产生了同度数而不同高度的各种音程、同时使两种律制的音阶构造起了变化。

§ 71. 纯律大音阶上的 e、a、b, 都比五度律大音阶上的同名音稍低,低的程度,三个音亦各一致。

纯律大音阶上的 e, 究竟比五度律大音阶上的 e 低多少呢?

$$\frac{81}{64}$$
(五度律大三度)÷ $\frac{5}{4}$ (纯律大三度)= $\frac{81}{80}$ [计算法见§28]

即, 408音分(五度律大三度)-386音分(纯律大三度) =22音分

这个影 (计22音分) 称为"普通音差"(common comma), 或称"协主音音差"(syntonic comma)。一般所称"音差", (comma),常即指这个音差而言。我们在 e 下 面 加 一 短 线, (如e),即表示该音比五度相生法所生之同名音低一个普通音差。

把普通音差与大全音比较,

204音分(大全音)÷22音分(普通音差)=9.3(10弱)

即普通音差约等于大全音的十分之一。我们已知,最大音差(24音分)约等于大全音的九分之一[865]。普通音差比最大音差稍小一点。两种音差,差异极微,相差只有2音分,2音分等于"小微音差"[8190(1)],不易为人耳所察觉,但是,在音程值的计算上,仍须加以区别,因为遇到累进时,差数 就 越 来 越大了。

§ 72. 纯律大音阶中第二、四、五、八各音,与五度律大音阶中的相应各音完全相同,因此采用与五度律大音阶中同样的名称,分别称为大全音、纯四度、纯五度和纯八度〔§54〕。 纯律大音阶中第三、六、七各音,与五度律大音阶中的相应各音不同,因此分别称为"纯律大三度"、"纯律大 六 度"和"纯 律 大 七 度"。

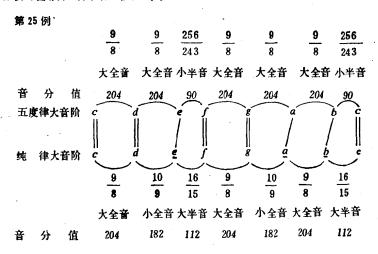
我们已知, 纯律大三度比五度律大三度低一个普通音差。同理, 纯律大六度比五度律大六度低一个普通音差, 纯律大七度比五度律大七度低一个普通音差,

$$\frac{27}{16}$$
(五度律大六度)÷ $\frac{5}{3}$ (纯律大六度)= $\frac{81}{80}$ (普通音差)

即,906音分(五度律大六度)-884音分(纯律大六度)=22音分(普通音差)

$$\frac{243}{128}$$
(五度律大七度)÷ $\frac{15}{8}$ (纯律大七度)= $\frac{81}{80}$ (普通音差)

即, 1110音分(五度律大七度)-1088音分(纯律大七度) = 22音分(普通音差) § 73. 五度律大音阶构造单纯,只有大全音和小半音两种音程〔§55〕。现在纯律大音阶,因为 e、a、b 三个音比五度律大音阶的相应各音为低,就使音阶在构造上趋于复杂化。现在把两种律制的大音阶,作图比较如下。



上例中"‖"表示两音阶中相等之音,"/"表示一高一低。

纯律中由于 是音的降低,就使 d-e 的音程变狭,成为 一种较小的全音,称为 "小全音" (minor tone) ( $\frac{10}{9}$ , 计182音分)。同时使 e-f 的音程放大,成为一种较大的半音,这种半音 却又不是五度律大半音( $\frac{2187}{2048}$ , 计114音分)[861],而比五度律大半音稍小,这种半音称为 "纯律大半音",简称 "大 半 音" (major semitone) ( $\frac{10}{16}$ , 计112音分) (纯律中还 有 一 种 较 小 的 半 音 [890])。

a 音的降低,使 g-a 成为小全音 (与 d-e 一样)。 b 音的降低,使  $b^1-c^2$  成为大半音 (与 e-f 一样)。但是,a-b 由于两个音都降低了,因此仍保持大全音的音程。

这样就使纯律大音阶中发生两种全音,一种稍大(\frac{1}{2}, \text{\text{\text{\text{\text{204}}}}}, \text{\texi}\text{\text{\text{\text{\text{\text{\texi}\text{\text{\text{\texi}\text{\text{\text{\texi}\text{\te}\tint{\text{\texi}\text{\text{\texi{\text{\texi{\texit{\text{\te

204音分(大全音)-182音分(小全音)=22音分(普通音差)

又大半音(纯律大半音)比五度律小半音[§ 55]也是大一个普通音差:

112音分(大半音)-90音分(五度律小半音) =22音分(普通音差)

§ 74. 我们已知,在五度律大音阶中的半音(五度律小半音)\*特别小,不及全音(大全音)之半[§55],反之,在纯律大音阶,半音(大半音)却特别大,超过全音(大全音)之半。大全音与大半音之比,约如 9:5:

§ 75. 在五度律大音阶,增四度大于减五度〔§56〕,而在纯 律大音阶则相反,减五度大于增四度。纯律中的这两种音程的产 生公式和音分值计算法如下。

$$\frac{4}{3} \times 2 (c^{1} - f^{2}) + \frac{15}{8} (c^{1} - b^{1}) = \frac{64}{45} ( 纯律减五度 b^{1} - f^{2} )$$
即,498音分( $c^{1} - f^{2}$ ) + 1200音分 - 1088音分( $c^{1} - b^{1}$ ) = 610音分(纯律减五度  $b^{1} - f^{2}$ )

$$\frac{15}{8}(c^{1}-b^{1}) \div \frac{4}{3}(c^{1}-f^{1}) = \frac{45}{32}(纯律增四度 f^{1}-b^{1})$$
即,1088音分( $c^{1}-b^{1}$ ) —498音分( $c^{1}-f^{1}$ ) =590音分(纯律增四度  $f^{1}-b^{1}$ )

即在纯律大音阶,减五度比增四度大20音分。

610音分(纯律减五度)-590音分(纯律增四度)=20音分

§ 76. 五度律大音阶,其各音照五度音列[第14例]排列时, 均成纯五度,但是纯律大音阶,其各音如果也照五度音列排列, 就不全是纯五度。

第26例

五度律大音阶	<i>f</i> —	c	g	d	a	—-е-	ъ
<b>牟金大音阶</b>	<i>f</i>		g	d	a	e	b

即在纯律大音阶, d-a(例中记有"一"之处)不是纯五度, 而是比纯五度少一个普通音差的"狭五度"(频率比是 50, 计680 音分)。转位后 a-d 是比纯四度大一个普通音差的"宽四度"(频率比是 50, 计520 音分)。

§ 77. 我们已知,一音内包含着许多的倍音[§7]。倍音列中最初五个倍音(到六倍音为止),是构成大三和弦的基础。所以,当我们把 c—e—g 三个音同时结合起来——即构成和弦时,势必倾向于纯律。就是说,在大音阶的主音 c 上构成大三和弦 c—e—g 时,其三音 e 与其用五度律大音阶(亦即五度相生律)中的 e,不如用纯律大音阶中的 e(这是纯律大三度)较为和谐。因为 c 本身中就含有 e (五倍音),所以加入 e 比加入 e,较为和谐。同理,在 f 音和 g 音上分别构成大三和弦 f—a—c 和 g—b—d 时,其三音分别用 a、b 比 a、b 较为和谐。

纯律由于构成和弦时声音较为和谐,即较纯,所以这种律制称为"纯律"或"纯正律"。又因为这种律制根据自然法则(倍

音原理) 而成,所以也称作"自然律";同时称纯律 大 音 阶 为"自然音阶"。

§ 78. 普通认为,纯律大音阶和根据纯律的其它音阶(如纯律小音阶),其各音都发源于倍音列。这可以理解为,纯律大音阶中的各音符合于倍音列中某些音程。例如,大半音是十五倍音到十六倍音的音程,小全音是九倍音到十倍音的音程,大全音是八倍音到九倍音的音程,小三度是五倍音到六倍音的音程,大三度是四倍音到五倍音的音程,纯四度是三倍音到四倍音的音程,小六度是五倍音到八倍音的音程,大六度是三倍音到五倍音的音程,等等。如果理解为,纯律大音阶中的各音符合于倍音列中音阶式的一列音(如八倍音起到十六倍音止的一段音列),那就不确切了。因为八倍音到十六倍音的一段音列中若干倍音,并不用在纯律大音阶中。例如,十一倍音并不用作纯律大音阶中的第四音(f),十三倍音并不用作纯律大音阶中的第六音(a)。

十一倍音的 f (频率比是 $\frac{11}{8}$ , 计551音分) 比纯四度的 f (498 音分) 高,不能在主音 c 下方构成纯五度。

十三倍音的 a (频率比是 $\frac{13}{8}$ , 计841音分),比纯律大音阶 中的 a (884音分) 低,不能在 f 上作为三音,构成和谐的和弦。

十四倍音(七倍音)有特殊的用法,下文另述[§79]。

总而言之, 纯律大音阶并不用倍音列中八倍音起到 十六倍音止的一列音, 而是如德国音乐理论家兼 小提 琴家 豪 普特曼(Moritz Hauptmann, 1792—1868)所归纳的说法①那样,纯律大音阶实际"只有三种立即明了的音程,即八度、大三度和纯五度"。 凭这三种音程,不仅可以通过三个三和弦形式的三音列,构成纯律

① 根据里曼的《简易和声学》所引的豪普特曼的话。

大音阶,而且运用这三种音程的加减,还能获得与倍音相一致的其它各种音程。例如,从纯五度减去纯律大三度,即得纯律小三度;

 $\frac{3}{2}$ (纯五度)÷ $\frac{5}{4}$ (纯律大三度)= $\frac{6}{5}$ (纯律小三度)(五倍音到 六倍音)

又如,从纯四度减去纯律大三度,即得大半音:

 $\frac{4}{3}$ (纯四度)  $\div \frac{5}{4}$ (纯律大三度)  $=\frac{16}{15}$ (大半音)(十五倍到 十六倍音)

综上所述可以证明,根据自然法则的纯律,也是对自然法则 有所选择的[参看 §16]。

此外,不能忽视,不用于纯律大音阶的十一倍音等,却作为 重要的特征用于别种民族律制——特别是"四分之三音"体系的 乐制中。关于这,将在第八、九章中讲述。

§ 79. 有人主张在纯律中用七倍音,作为大小音阶的属七和弦( $V^{7}$ )的七音[看§189]。七倍音的 $^{1}$ 6 音有"自然七度"之称(频率比是十,计969音分)。这个自然七度,是指 $^{1}$ 6 音上的自然七度。用作属七和弦中七音的自然七度,是 $^{1}$ 7 音,其产生法和结果如下。

$$\frac{\frac{3}{2}(属音) \times \frac{7}{4}(自然七度)}{2(降低一组)} = \frac{21}{16}(计471音分)$$

上面的 f 音 (471音分),比纯四度的 f 音(498音分) 低27 音分。

§ 80. 在纯律大音阶的第一、四、五各音上构成三个正三和弦时,声音是完全和谐的,但是在第二音上 构 成 d-f-a 和 弦时,就不完全和谐。因为 d-a 不是纯五度,而是狭五度[\$76]。

如果把 d 音改为 a 音,使 a—a 成为纯五度,则 在 g 音 上 构 成 g—b—d 和弦时,又出现狭五度。这是纯律本身存在的 矛 盾 之 一。历代音乐家为了解决这个矛盾,作过各种探索。关于这,详见第七章[ $\S$ 168、 $\S$ 176、 $\S$ 177、 $\S$ 178]。

## 纯律小音阶

§ 81. 仿照纯律大音阶的构成方式,在二倍音(八度)和三倍音(纯五度)之外,加入五倍音到六倍音的音程(这音程是"纯律小三度",频率比是  ${}^{*}$ ,计316音分),作为生律的基础,可以构成纯律小音阶。即在纯五度  ${}^{c}$ 一度 之间插入  ${}^{b}$  。 6 音名上面的短线,表示高一个普通音差,详见下文),构成小三和弦形式的三音列  ${}^{c}$ 一度,在  ${}^{b}$ 一。  ${}^{c}$  之间插入  ${}^{b}$  。 构成  ${}^{c}$  一  ${}^{b}$  一  ${}^{c}$  —  ${}^{c}$  —

#### 第27例

· 70 ·



上述的三个小三和弦形式的三音列,与小音阶中三个正三和弦 (即主音、属音和下属音上构成的三个小三和弦) 有密切的联系。这三个小三和弦形式的三音列,构成了纯律小音阶,如下例。

上面的纯律小音阶,是自然小音阶。

关干产生法一栏,看 §69 可以明白。

再看相邻两音间的音程,可知纯律小音阶与纯律,大音阶一样,共有大全音、小全音和大半音三种音程,只是各种音程所在的位置与大音阶不同罢了。

§ 82. 音名上面的短线 (如 e),表示比五度律小音阶中的 e 高一个普通音差。

把上面第28例中的 be 与五度律小音阶中的 be [\$57] 比 较 一下,就可知道 be 比 be 高一个普通音差:

316音分(纯律小三度)-294音分(五度律小三度) =22音分(普通音差) 同样,纯律小音阶中的 bā 和 bb,比五度律小音阶中的 ba 和 bb 各高一个普通音差。

814音分(纯律小六度)-792音分(五度律小六度)

=22音分(普通音差)

1018音分(纯律小七度) -996音分(五度律小七度)

=22音分(普通音差)

在小音阶的主音 c 上构成小三和弦 c—ve—g 时,以纯律小三度 ve 代替 ve,发音较为和谐。同样,在 f 音和 g 音上分别 构成小三和弦 f—ve—e 和 g—ve—e 时,用 ve 音和 ve 6 音 分别代替 ve 6 音 ve 6 音 ve 7 数 3 章 ve 8 音 ve 9 音 ve 8 音 ve 9 ve 9

从 §77 我们知道,大三和弦 c-e-g 之所以发音较为和谐,是由于和弦中各音合于倍音的原理。那么,现在 小三 和弦 c-be-g 发音较为和谐,是根据什么呢? —— 我们试将大三 和弦 c-e-g 加以分析,就会发现它由纯律大三度 (c-e) 和纯律小三度 (e-g) 叠置而成;而现在的小三和 弦 c-be-g 也是由纯律大三度 (be-g) 和纯律小三度 (c-be) 叠置而成,只是两个三度的上下位置与大三和弦有所不同(在大三和弦,大三度在下方,在小三和弦,大三度在上方)。小三和 弦 c-be-g 之所以发音较为和谐,原因便在于此。其它小三和 弦 f-b-a-c 和 g-b-b-d 发音较为和谐,原因同此。

§ 83. 小音阶中除自然小音阶之外,还有"和声小音阶"。要构成和声小音阶,只要把自然小音阶的第七音 b 改为 b ,即得。构成和声小音阶后,产生 a-b 的特殊音程。这个音程称为"纯律增二度"。

纯律增二度由大全音加小半音[§91]而成。

$$\frac{9}{8}$$
(大全音)× $\frac{25}{24}$ (小半音)= $\frac{75}{64}$ (纯律增二度)

即, 204音分(大全音)+71音分(小半音) = 275音分(纯律增二度)

在五度相生律,增二度大于小三度[§58],而在纯律则相反, 小三度大于增二度。小三度比增二度大41音分。

316音分(纯律小三度)-275音分(纯律增二度)=41音分

在五度相生律,大六度大于减七度[§58],而在纯律则相反,减七度大于大六度。减七度(频率比是<sup>128</sup>,计 925 音分)比大六度(频率比是<sup>5</sup>。,计884音分)大41音分。

又纯律小六度(频率比是 1/8 1/4 音分)比纯律增五度(频率比是 1/8 /

§ 84. 有人以为纯律小音阶中的第三音 ee , 起源于倍音列中的十九倍音。这是不确切的。十九倍音 be ee 音与 ce 音[第 2 例]的频率比是 ee , 计298音分。它稍高于五度相生律中的 be 音 (294音分),而低于纯律中的 be 音 (316音分)。纯律中的 be ——即纯律小三度(频率比是 ee , 计316音分),源出于倍音列中五倍音到六倍音的音程[§81]。

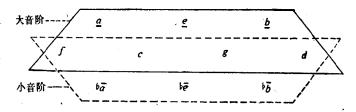
类似的情况是,纯律小音阶中的第七音 b 音,无关于七倍音的 b 音。七倍音 b 音作为自然七度,经过演变可以用人 纯 律中 [§79],但是不能直接作为纯律小音阶的第七音——纯律小七度。纯律小七度有1018音分,七倍音只有969音分,少49音分,显著低于纯律小七度。纯律小七度是于 g 音上加入纯律 小三度而得。

上面事实说明,纯律小音阶中的各音,尽管根据于倍音列,

但还是有所选择的[参看 §16、§78]。

§ 85. 现在把 C 大调与 c 小调两个音阶中的各音,照第23例 与第27例的图式,合成一个有系统的图式如下**₂** 

#### 第29例



如果加入 G 大 (8 小)调,就要增加三律;加入 D 大 (d 小)调,就要再增加六律。调不断地加多,律数就随之无限地增加。照上例的图式,不仅在左右增加律数,而且在上下增加律数。可以想象,如果在 c 音上构成大三和弦形式,势必产生 e 音 (比 e 低两个普通音差);同样,如果在 c 音上构成小三和弦形式,势必产生 e 音 (比 e 高两个普通音差)。律数这样扩张的结果,就构成一幅纯律音系网。

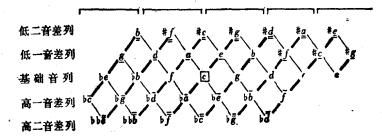
## 纯律音系网

§ 86. "纯律音系网"的作用,就是把纯律中各律排列成有系统的图式,以便于计算音程,也有助于明示各调音阶的相互关系。

在纯律音系网中,横向各行的音列都是五度音列,同行音列 上相邻两律的关系,都是纯五度。中间一行就是五度相生律的五 度音列。上下相邻两行音列上邻近两律的关系,都以"斜向" 成三度音程,每一律距斜向右上或斜向左下的另一律,都是纯律大三度(以粗斜线为记),每一律距斜向左上或斜向右下的另一律,都是纯律小三度(以细斜线为记)。例如 c-e(斜向右上)、c-b (斜向左下),都是纯律大三度,c-a (斜向左上)和 c-b (斜向右下),都是纯律小三度。

第 30 例

### 纯律音系网



上下相邻两行音列上的同名律,都相距一个普通音差;而每行音列上的某一律,都比相邻的上一行音列上的同名律,较高一个普通音差。例如"低一音差列"上的'c, 比"低二音差列"上的'c, 较高一个普通音差;"高一音差列"上的f,比"基础音列"上的f,较高一个普通音差。

图例上方的方括弧 一 ,表示组;上例约为五组。

§ 87. 照上项所述,根据一律、欲求同行音列(横向)右方的另一律(即纯五度),乘以量即得,欲求左方的另一律(即下方纯五度)、除以量即得。

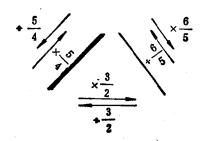
根据一律,欲求斜向左下(粗斜线)的另一律(即大三度),除以呈即得,欲求斜向右上(粗斜线)的另一律(也是大三度),乘以呈即得。

§ 87

ş

根据一律,欲求斜向右下(细斜线)的另一律(即小三度), 乘以 & 即得,欲求距斜向左上(细斜线)的另一律(也是小三度), 除以 & 即得。

连续求律,则连续乘除。最后作八度移动。作图示之如下; 第31例



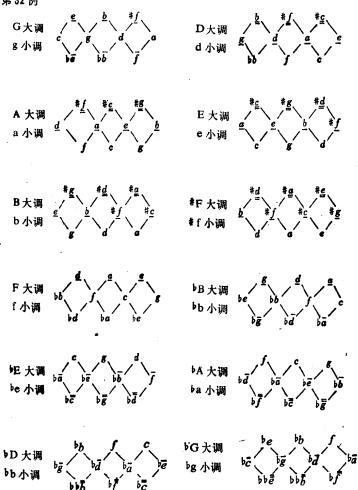
如果直接用音分值计算,则根据一律,欲求同行 音 列 右 方 的另一律(即纯五度),照上例把乘法改为加法,即得,如果所得的音分超出1200音分,则除以1200,所得的商就是移低几组之数,余数就是所求的音分〔参看 §53〕。

根据一律,欲求同行音列左方的另一律(即下方纯五度),则先照上式(求右方另一律的方式)计算,再从1200减去照上式求得的音分,即得〔参看§53〕。

求频率比和直接求音分值的实例、看第34例和\$91。

§ 88. 在第30例的纯律音系网上,不消说,除 C 大 (c 小)调之外,还包含与 C 大 (c 小)调有近关系或远关系的其它各调。这些调的构成,形式都与第29例一样,不过所用的律不同,即在纯律音系网中的位置不同。各调举例如下。

### 第32例



\$ 89. 上例各调的主音,在纯律音系网中的位置,如下式。 第33例

$$b_{\overline{g}} b_{\overline{d}} f b_{\overline{d}} c b_{\overline{e}} g$$

§ 89

D(d) 调的主音为什么用 d 音而不用 d 音呢? 这是因为 C大调和 D(d) 调的关系主要是 d 小调 (d 小调是 C 大调的下属 调 关系小调)。用 d 音作为 d 小调的主音,与 C 大调有 c 、 e 、 a 和 f 四个共同音,如果用 d 音作为主音,则与 C 大调 只 有 d 和 g 两 个共同音。两调之间有较多的共同音,显示出两调的关系较近。

## 大半音和小半音

§ 90. 纯律大小音阶中相邻两音之间,有非常复杂的升降音,远超过五度律大小音阶。例如,c—d之间,有 'c、'c……'d、'd……等音;其他相邻两音之间,也是这样。这种升降音对本调的关系的远近,常不相同;那些发生在与本调关系较近的调上的升降音,对本调关系自然较近,反之则较远。我们对于这种升降音的选择,不论用作转调音或用作变化音,一般选用与原调关系较近的调内的音〔参看 \$67〕。

在 C 大调中,c—d之间—般用 c 和 d 两个升降音。因为 c 音是 C 大调的下属调关系小调——d小调的大七度, d 音是下属调同名小调——f 小调的小六度。现在把这两个升降音,加以 计算。

第34例

音	名	# <u>c</u>	♭ā
<b>7<sup>2</sup></b>	生法	$\frac{5}{4} \div \frac{6}{5}$	$\frac{2}{3} \div \frac{5}{4} \times 2$
与c的	]频率比	$\frac{25}{24}$	$\frac{16}{15}$
距で的	音分值	71	112

§ 91. 上面计算法是根据纯律音系网〔第30例〕和 \$87所述。

### c- 'c 的计算法 ---

先求  $c-\underline{e}$  (斜向右上),乘以 $\frac{1}{4}$ , 再求  $\underline{e}-\frac{1}{2}$  (斜向左上),除以 $\frac{1}{4}$ 。所以  $c-\frac{1}{6}$  的产生法是。

$$\frac{5}{4} \div \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$$

### c-'d 的计算法--

先求 c-f (同行音列从右向左),除以 $\frac{3}{3}$ ,再求  $f-r\bar{d}$  (斜向左下),除以 $\frac{1}{3}$ ,最后乘以 2 (移高一组)。所以  $c-r\bar{d}$  的产生法是。

$$\frac{2}{3} \div \frac{5}{4} \times 2 = \frac{16}{15}$$

 $c-\sqrt{d}$  的计算法,也可以先求  $c-\sqrt{a}$  (斜向左下),除以 $\{z\}$ ;再求  $\sqrt{a}-\sqrt{d}$  (同行音列从右向左),除以 $\{z\}$ ,最后乘以 $\{z\}$ 。结果是相同的。

如果直接用音分值计算,则如下,

c-- c 的计算法---

$$386$$
 帝分 (大三度 $c-e$ )  $-315$  帝分 (小三度 $e-e$ )  $=71$  帝分 ( $c-e$ )

.c-- d 的计算法---

386音分(大三度 $^{b}\overline{d}-f$ ) + 702音分(纯五度f-c)

=1088音分( $c-\bar{d}$ )

1200音分-1088音分=112音分(c-bd)

我们已经知道, 16 (112音分) 是纯律大小音阶中的半音 (大半音) [\$73、\$81]。至于26 (71音分), 我们还没有看见过。这称 § 91 • 79 •

为"纯律小半音"、简称"小半音"(minor semitone)。

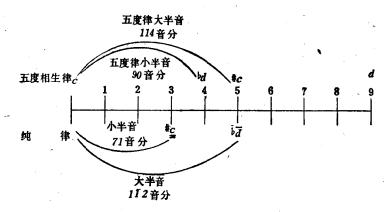
这里应当提起,在纯律音系网上,凡"相距一个大三度和一个小三度"的两律,都可以构成小半音,凡"相距一个纯五度和一个大三度"的两律,都可以构成大半音。

§ 92. 大半音超过大全音之半;大全音与大半音之比,约如 9:5[\$74],而小半音却只有大全音的三分之一光景;

204音分(大全音)÷71音分(小半音)=2.873(即 3 弱) 即大全音与小半音之比,约如 3:1。

既然大全音与大半音之比约如号,现在大全音与小半音之比约如号(即号),这就给我们一个绝好机会,可以仿照 §65 所述,把大全音分作九个音差(最大音差),来安置 c 和 d 两 音。下例把第20例并在一起,以事比较。、

#### 第 35 例



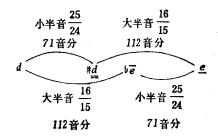
上例只是大体的情形,  $^{\circ}$ c 音并非等于  $^{\circ}$ d 音,不过所差极微,只有 2 音分,等于 "小微音差" [ $^{\circ}$ 190 $_{(1)}$ ] 不易为人耳所察觉。至于  $^{\circ}$ c -  $^{\circ}$ d 的相差则是。

$$\frac{16}{15}$$
(大半音)÷ $\frac{25}{24}$ (小半音)= $\frac{128}{125}$ , 计41音分

这个差距称为"大第西斯"〔§167〕。

§ 93. 现在来看 d-e 之间的升降音是怎样的情形。 d-e 是小全音,情形当然不同,但是从纯律升降音的规律看来,仍然与c-d之间相同。把 d 音 (C 大调的属调关系小调 e 小调 的 大 七度) 和 e 音 (C 小调的小三度) 插入于 d-e 之间,如下例:

第36例



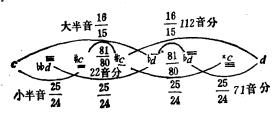
试在纯律音系网[第30例]上查看,这里的小半音也是相距一个大三度和一个小三度,大半音也是相距一个纯五度和一个大三度[参看 §91]。

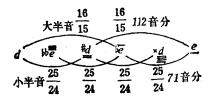
上面的升降音( $\frac{1}{d}$  音和 $\frac{1}{e}$  音)是从d 音出发来计算,即指距离d 音的音程。如果从c 音出发来计算,则如下。

$$c-\frac{1}{2}$$
的频率比为 $\frac{3}{2} \times \left(\frac{5}{4}\right)^2 = \frac{75}{64}$ ,计275音分(纯律增二度)

$$c-\sqrt{e}$$
 的 频率比为 $\frac{6}{5}$ ,计316音分(纯律小三度)

§ 94. 把较多的升降音,分别 插入 c-d 和 d-e 之间,则如下例:





这种升降音是很复杂的,但是仍有一定的规律,即各升降音 之间的音程,有其统一性。

§ 95. 以上二例[第36、37例]表明,所称自然半音(异音名半音)和变化半音(同音名半音)的音程大小,在五度相生律和在纯律正好相反。在五度相生律中,变化半音  $(c-^{*}c)$ 大于自然半音  $(c-^{*}d)$  [§62];而在纯律中适得其反,变化半音  $(c-^{*}c)$  小于自然半音  $(c-^{*}d)$ 。

明白了大全音和小全音之间的升降音的高度关系,又弄清楚 五度相生律和纯律中所称自然半音和变化半音适得其反的高度关 系之后,我们对于纯律中减五度大于增四度〔\$75〕,小三度大于 增二度,减七度大于增六度,小六度大于增五度〔\$83〕的原因, 以及在五度相生律中适得其反的情况,也就容易理解了。下面的 算式加入从 c 音出发的音程(例如增四度加入c一'f),以便加深 理解这个问题〔比较 \$64 最后算式〕。

$$-610$$
音分(纯律减五度  $\underline{b}^{1}-\underline{f}^{2}$ )  $-590$ 音分(纯律增四度  $\underline{f}-\underline{b}$ )   
 [或  $\underline{c}-\underline{b}$ ]   
 =  $20$ 音分

由于在纯律的大全音或小全音之间插入的升降音,比五度相 生律的大全音之间插入的升降远为复杂,所以上面四对音程的差 数,不完全一致。

§ 96. 现在照第33例所示的调的范围,把C大(c小)调所包含的音和调外的音,照音的高低次序列表如下。

表中所列各律既然都是C大(c小)调本身及其关系调的音,所以一概视为c音的某种音程。这种音程凡有专名的,都把专名记在音名下面。表中共有三十七律,除重复c音的八度音外,实际是三十六律。

表中各律分上下两栏排列。上下两栏同一位置的两律,互成转位关系。例如,第 4 律  $^{b}$   $^{d}$  与第 3 4 律  $^{b}$  互成转位关系。在 纯 律 音系网[第 3 0 例]上,这两律与  $^{c}$  音的距离,都是"大三度加纯五度", $^{b}$  在下方, $^{b}$  在上方。与转位音程一样,互成转位的两律相加,正是八度,看两律的频率比和音分值,可以明白。记有括

	数	1	2		3	4 .	5	6
	名	C1	# <u>c</u> 1	#2	<u>1</u>	þď	₽ <mark>₫</mark> 1	<u>d</u> ı
Y c , A			小半:	音	ታ	(半音		小全音
	的味	1	25	13	5	16	27	10
-	. –					15	25	9
7.7	_			9	3	112	133	182
	<b>A</b>	261.63	272.	58 276	. 06 27	79.11	282.52	290.68
	数	37	36	3	5	34	33	32
		C2	þc 2	bō	2	Ď, ·	Ďι	م، <u>و</u> و
<b>程</b> c'出	名 发)	八度	ı					<b>纯</b> 律 小七度
	的	2	48			15	50	9
-	-	1				8	27	5
分							1067	<b>10</b> 18
	本	523.25	502.2	3 496.	46 49	0.47 4	84.56	471.04
	444		0	^	10		10	10
	数	7	8 ≈.	·9	10	11 1 <del>5</del> i	12	13
##	名	7 d1	₩ <u>\$</u> ;	# <u>d</u> 1	þe.3	bē¹	Ē1	e i
程 c¹ 出	名名发	d¹ 大全音	₩ē:	#₫' 纯 律 增二度	be <sup>1</sup> 五度律 小三度	bē <sup>i</sup> 纯 律 小三度	e¹ 纯 律 大三度	e <sup>1</sup> 五度律 大三度
c¹ ∄	名名发的	d <sup>1</sup> 大全音	256	#g¹ 纯 律二度 75	be <sup>3</sup> 五度律 小三度 <u>32</u>	レゼ: 纯 律 小三度	e <sup>1</sup> 纯 律 大三度 5	e! 五度律 大三度 <u>81</u>
c <sup>1</sup> 出 c <sup>1</sup> 率	名名发的比	d <sup>1</sup> 大全音 <del>9</del> 8	256 225	#g <sup>1</sup> 纯 律 度 75 64	五度律 小三度 32 27	bēi 纯 律 小三度 6 5	e <sup>1</sup> 纯 律 大三度 - 5 - 4	e <sup>1</sup> 五度律 大三度 81 64
c¹ ∄	名 名发 的比 值	d <sup>1</sup> 大全音 <del>9</del> 8 204	256 225 224	#di 纯 律 增二度 75 64 275	五度律 小三度 32 27 294	地 律小三度 6 5 316	<b>空</b> <sup>1</sup> 纯 律 大三度 <u>5</u> 4 386	e <sup>1</sup> 五度律 大三度 <u>81</u> 64 408
c <sup>1</sup> 出 c <sup>1</sup> 率	名名发的比	d <sup>1</sup> 大全音 <del>9</del> 8	256 225	#g <sup>1</sup> 纯 律 度 75 64	五度律 小三度 32 27 294	地 律小三度 6 5 316	<b>空</b> <sup>1</sup> 纯 律 大三度 <u>5</u> 4 386	e <sup>1</sup> 五度律 大三度 81 64
c <sup>1</sup> 出 c <sup>1</sup> 率	名 名发 的比 值	d <sup>1</sup> 大全音 <del>9</del> 8 204	256 225 224	#d #d #d # #d # #d # #d # #d # #d # #d	五度律 小三度 32 27 294	地 律小三度 6 5 316	<b>空</b> <sup>1</sup> 纯 律 大三度 <u>5</u> 4 386	e <sup>1</sup> 五度律 大三度 <u>81</u> 64 408
c <sup>1</sup> 出 c <sup>1</sup> 率	名 名发 的比 值 率	d <sup>1</sup> 大全音 <del>9</del> 8 204 294.34	256 225 224 297.76	#g <sup>1</sup> 纯 律 度 <u>75</u> 64 275 306.67	五度律 小三度 32 27 294 310.05	地區 纯 律 小三度 6 5 316 314.02	生 纯 律 大三度 5 4 386 326.97	e <sup>1</sup> 五度律 大三度 <u>81</u> 64 408
c <sup>1</sup> 出 c <sup>1</sup> 率	名名发的比值率数名名	d <sup>1</sup> 大全音 <u>9</u> 8 204 294.34	256 225 224 297.76	#d #d #d # #d # #d # #d # #d # #d # #d	五度律 小三度 32 27 294 310.05	地區 纯 律 小三度 6 5 316 314.02	空 <sup>1</sup> 维大三度 大三度 386 326.97	e <sup>1</sup> 五度律 大三度 <u>81</u> 64 408 <b>331.</b> 15
c 上 上 上 上 上 上 上 上 上 上	名名发的比值率数名名发的	d <sup>1</sup> 大全音 <u>9</u> 8 204 294.34 31 bb <sup>1</sup> 五度律度 16	256 225 224 297.76 30 *a'	#d : 神度 · 神度 · 神度 · · · · · · · · · · · · ·	五小 五小 32 27 294 310.05 28 a1 五大 27	地域 (地) (本) (本) (地) (地) (地) (地) (地) (地) (地) (地) (地) (地	e <sup>1</sup> 维度 纯 三 5 4 386 326.97 26 ba 4	e <sup>1</sup> 五度律 大三度 <u>81</u> 64 408 <b>331.</b> 15
c 中分 程 c 平	名名为的比值率数名名为的比	d: 大全音 <u>9</u> 8 204 294.34 31 bb: 五 使定 16 9	256 225 224 297.76 30 *a'	#d : 神度 · 神度 · 75 · 64 · 275 · 306 · 67 · 29 · 妙 · 本度 · 128 · 75	五中 五中 五中 五中 32 27 294 310.05 28 a1 五大 27 16	・	e	e <sup>1</sup> 五度律 大三度 <u>81</u> 64 408 <b>331.</b> 15
c 上 上 上 上 上 上 上 上 上 上	名名发的比值率数名名发的	d <sup>1</sup> 大全音 <u>9</u> 8 204 294.34 31 bb <sup>1</sup> 五度律度 16	256 225 224 297.76 30 *a' 225 128 977	#d : 神度 · 神度 · 神度 · · · · · · · · · · · · ·	五度三 五度三 27 294 310.05 28 a1 五 大 27 16 906	地で ・	e	e <sup>1</sup> 五度律 大三度 <u>81</u> 64 408 <b>331.</b> 15
	程出。本分程	名名发的比值 率 数名名发的比	名名发的比值率 数名名发的比值率 数名名发的比值 1200	名名 c' #c' 和本 c' #c' 和本 c' 出发) 小半 c' 出 的 L	名 c' #c' #c' #c' #c' #c' #c' #c' #c' #c'	名 c' #c' #c' #c' #c' 程名	名 c' #c' #c' bd' 程名	名 c' #c' bd' bd' bd' ない と 大半音

序音		数 名	(b <b>f</b> 1)	14 bf1	15 #e¹	16 f 1	$\frac{17}{\overline{f}^1}$	18 #f1	19 # <u>f</u> '
音 (从	程 c <sup>1</sup> 出	名 发)		<b>V</b>		纯四度	宽四度		纯 律 增四度
与频	<b>本</b>	的 比		$\frac{32}{25}$	675 512	$-\frac{4}{3}$	$\frac{27}{20}$	25 18	45 32
音	分	值		427	478	498	520	569	590
频		率		334.81	344.82	348.83	353.29	363.43	367.86
序		数	25	24		23	22	21	20
序音		数名	25 #g1	24 #g¹	(bba1)	23 g 1	22 g¹	21 þg'	20 5 <b>g</b> 1
音音	程 c¹出	名名			(bba1)		<b>g</b> 1		
音音从与	c <sup>i</sup> 出	名 名发 的	#g¹ 纯 律		(15 <b>ā</b> 1)	g¹ 纯五度 <u>3</u>	<b>g</b> 1		yg' 纯 律
音 音 (从	c <sup>i</sup> 出	名 名 发)	#g¹ 纯 律 增五度	#g1	(bbā¹)	g¹ 纯五度	g' 狭五度	þ <b>g</b> '	ッ。 ・魔・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・
音音从与	c <sup>i</sup> 出	名 名发 的	#g¹ 纯 律 增五度 <u>405</u>	#g1	(bba1)	g¹ 纯五度 <u>3</u>	g' 狭五度 <u>40</u>	<u>36</u>	·g· 纯 律 减五度 64

弧的律,是与C大(c小)调关系较远的调的音,只作为转位律而列人,不作详细的记述。频率一栏表示中央C开始的一组内各音的频率。各律的产生法不另列[参看 §87、§91]。

§ 97. 以C大(c小)调为中心,就有上面的三十七律,如果中心转为G大(g小)调,就要再加五律,中心转为F大(f小)调和'B大('b小)调,又都要加入五律,中心转为D(d)、A(a)、E(e)各大小调,又都要加入许多律。如此,调不断地增加,律就随之无限地加多,使纯律音系网无限地扩张。以前 五度相生律,仅仅是五度的扩张,即五度音列向左右扩张[\$67],现在的纯律,除了五度的扩张之外,还有大小三度的扩张,即纯律音系网的左右上下一并扩张。纯律的这种扩张,与五度相生律一样,不能回到出发的c。这样,想在纯律内循环构成各大小调音阶,

发生很大的困难。

五度相生律适用于"单音体"(monophony)音乐的曲调上,但是当音乐变为和弦结构的"多声部"(包括"复音体"[polyphony]和"主音体"[homophony])时,律制就倾向于纯律。纯律解决了多声部结合(即构成和弦)时声音和谐的问题,但是不能解决"回到出发律"的问题。这是纯律本身存在的又一矛盾(纯律本身存在的另一矛盾见 §80)。同时由于曲调与和弦互有关系,使适于曲调的五度相生律和适于和弦的纯律两者之间,发生一定的矛盾。即一种律制除了本身存在着矛盾之外,又与他种律制发生矛盾。历代音乐家为了适应音乐实践的需要,力求解决这些矛盾,作过大量的探索工作;关于这,本书将在第七章中加以详述。

# 第五章 十二平均律

§ 98. "十二平均律"(twelve-tone equal temperament) 简称 "平均律"。这种律制,就是把一组(即八度)分成频率比 相等的十二个半音,所以亦称"十二等比律"(简称"等比律")。

要注意的是,不能以为,把一条弦或一根管均分为十二段,或者使十二律各相邻律之间的频率的差数都相等,就能构成十二平均律[参看§25]。十二平均律是各相邻律(即半音)之间其"频率比"都相均等的一种律制。

§ 99. 从理论的角度来说明十二平均律的构成,可以仿照五度相生律,先求出平均律的五度,然后由这个五度求出平均律的 半音,最后由这个半音求得十二律。

我们知道,五度相生律由某一律(例如c)出发,每隔纯五度,产生一律,生到十二次,就达到一律(如'b),此律比出发之律高一个最大音差[§63]。既然相生十二次,高一个最大音差,可见每生律一次,都高最大音差的十二分之一。所以,现在如果把每次相生的纯五度,都减小"最大音差的十二分之一",则生到十二次时,岂不就回到原来的音么?

最大音差的十二分之一是:

$$\sqrt[1^2]{\frac{531441}{524288}}$$
(最大音差) =  $\frac{872}{871}$ 

试从纯五度减去最大音差的十二分之一。

$$\frac{3}{2}$$
(纯五度)÷ $\frac{872}{871}$ (最大音差的十二分之一)= $\frac{433}{289}$ 

这个誓證频率比,就是比纯五度小"最大音差的十二分之一"的一种五度;这便是十二平均律的五度,简称"平均律五度"。从一律(例如 c)出发,根据平均律五度,生律十二次(即自乘十二次),就达到一个与出发律相同的律;这时每次所生之律,就是十二平均律中的各律。如下例。

第 39 例

平均律的五度音列



上例中下面一行,相当第14例的第一行(即向下生律)。在上例的五度音列上,最大音差已不存在,所以'b 音 不 再 高 于 c 音,而与 c 相等,且与 b 音,b 音与 c 音,也都相等了。

§ 100. 现在根据平均律五度,求出十二律的半音。即 根 据平均律五度的频率比,求出 c 与 c 音的频率比。 c 音 由 c 音 上生七次,移低四组而得[参看§60],即。

$$\frac{\left(\frac{443}{289}\right)^7}{2^4} = \frac{89}{84}$$

十二平均律各相邻二律(半音)间的频率比都相同,所以这个是连续自乘十二次,就分别产生十二平均律的各律、而乘到第

十二次,就达到 2 (八度),

$$\binom{89}{84}^{12} = 2$$

**§ 101.** 上面是从理论的角度来说明十二平均律的构成。关于十二平均律,还有一种较为简单的产生法,应用起来十分方便。 其法如下。

十二平均律既然最后达到 2 (八度),那么,我们只要将 2 开十二次方,就能得到一个数,这个数与"频率比"相应,正是平均律半音的"频率倍数"(见下面算式),把这个数连续自乘十二次,就得到平均律各律的频率倍数。

$$\log \sqrt[12]{2} = \frac{0.30103}{12} = 0.02508583$$

$$\sqrt[12]{2} = 1.0595$$

把1.0595连续自乘十二次,如下例:

第 40 例

序	数	1	2	3	4	5	6
音	名	c1 (#bbbdi)	#c <sup>1</sup> . (*b、 <sup>6</sup> d <sup>1</sup> )	di (*c¹,bbe¹)	#d1 (be1,bbf1)	et (* d <sup>1</sup> , <sup>5</sup> f <sup>1</sup> )	$\begin{matrix}f^{\dagger}\\ (^{\sharp}e^{i},^{\flat}{}^{\flat}g^{i}\end{matrix})$
<b>j=</b> 4	生法	1.0000	1.0595	(1.0595)2	$(1.0595)^3$	(1.0595)4	(1.0595)5
頻率	8倍数	1.0000	1.0595	1.1225	1.1892	1. 2599	1.3348
与主频	音的 率 比	, 1	<u>89</u> _84	449	<u>44</u> 37	<u>63</u> 50	303 227
音	分值	0	100	200	300	400	500
頻	率	261.63	277.18	293.66	311.13	329.63	349.23

7 8 9 10 11 12 13

#fi gi #gi ai #ai bi c²

(\*e', bg') (\*f', bbai) (bai) (\*g', bbbi) (bb', bbc²) (\*ai, bc²)

(1.0595) 6 (1.0595) 7 (1.0595) 8 (1.0595) 9 (1.0595) 10 (1.0595) 14 (1.0595) 12

1.4142 1.4983 1.5874 1.6818 1.7818 1.8877 2.0000

$$\frac{140}{99} \quad \frac{433}{289} \quad \frac{100}{63} \quad \frac{37}{22} \quad \frac{98}{55} \quad \frac{168}{89} \quad \frac{2}{1}$$
600 700 800 900 1000 1100 1200

 $\frac{369.99}{392.00} \quad \frac{392.00}{392.00} \quad \frac{415.30}{440.00} \quad \frac{440.00}{466.16} \quad \frac{493.88}{393.88} \quad \frac{523.26}{3}$ 

把频率比一栏中任何一律的比数, 化为小数, 即等于该律的 频率倍数。频率一栏表示中央 C 开始的一组内各律的频率。把第一律的频率 261.63 乘以各频率倍数, 即得平均律各律的 频率。

上面按照习惯,以 c 音为第一律,实际以任何音为第一律,结果都是一样,这是因为各律之间的频率比都相同的缘故。又每个音都可以有三个不同的名称(除 g 音只等于 a 音以外)。

用音分值记示十二平均律时,特别清楚〔§42〕;半音 100 音分,全音200音分,多则递加。

§ 102. 根据音分值, 欲求其他各种律数的平均律的每一律的音分, 只要把1200音分(八度)除以该平均律的律数,即得。例如,欲求"七平均律"[§226]的每一律的音分。

再把一律的音分 (171.4) 乘以律数,即得各 律 的 音 分。例 如,七平均律第四律的音分:

 $171.4 \times 3 = 514.2$ 

## 三种律制的差异

§ 103. 五度相生律、纯律和十二平均律三种律制之间 明显地存在着差异,它们之间互相矛盾。要想充分理解三种律制之间的矛盾,进而解决这些矛盾,就要清楚地认识三种律制之间的差,并须明白这些差异怎样具体表现在音阶和音程上。

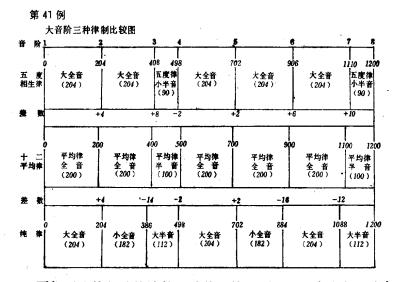
十二平均律是使律制简化的一种律。从五度相生律和纯律到十二平均律,从律制上说,是从繁到简。五度相生律和纯律,都随调的增加而不断加多律数,而十二平均律则不然,它用十二个律应付一切的变化。十二平均律一举解决了五度相生律和纯律本身存在的矛盾以及两种律制之间存在的矛盾,当然也就解决了五度相生律和纯律一味增加律数而不能回到出发律的矛盾。但是十二平均律也有它的缺点,例如,它影响音程的和谐性,又使音程的协和与不协和的范畴混淆不清,等等。关于这些,等我们把三种律制的大小音阶加以比较后,再来研究,就容易明白了〔看第十章,§238—§240〕。

§ 104. 把三种律制的大音阶的各音,用音分值记出,加以比较,如下面第41例。

我们站在十二平均律方面,观察其它两种律制与十二平均律的差距。

先把平均律与五度相生律比较。五度相生律大音 阶 的 第 四 音, 比平均律大音阶的第四音低 2 音分 (例中以加减号表示较高或较低), 第五音则高 2 音分。 2 音分仅及平均律半音的五十分之一, 等于"小微音差"〔§190(1)〕,不易为人耳所察觉。第二音

高 4 音分 (为平均律半音的二十五分之一)。第六音高 6 音分(为平均律半音的十六分之一弱)。第三音高 8 音分(为平均律半音的十二分之一弱)。第七音高10音分 (为平均律半音的十分之一)。为什么差数会按照大音阶的第五、二、六、三、七这种次序递增2 音分呢? ——这是由于平均律的五度相生按照这种连续五度关系的次序递减2 音分的缘故[§99]。



再把平均律与纯律比较。纯律的第二、四、五各音与五度相生律相同。但是第三、六、七各音,纯律与平均律相比,差数就较大了。在五度相生律,最多只差10音分(第七音),但是在纯律,第七音相差就是12音分。在五度相生律,第七音是高于平均律,现在纯律是低于平均律。在纯律,第七音低12音分(为平均律半音的八分之一弱)。以后第三、六各音的差数逐渐加多。第三音低14音分(为平均律半音的七分之一弱)。第六音低16音分(为平均律半音的六分之一弱)。为什么差数会按照这种次序递

增2音分,理由见上文。

须注意的是, 纯律与平均律的相差, 比五度相生律与平均律的相差为甚。也就是说, 平均律比较接近五度相生律, 而比较远离纯律。

再把各种全音和各种半音就三种律制加以比较。大全音是204音分,比平均律全音大4音分。小全音是182音分,比平均律全音小18音分(为平均律半音的五分之一弱)。大半音是112音分,比平均律半音大12音分。五度律小半音是90音分, 比平均律半音小10音分。专属纯律大音阶的小全音和大半音,与平均律的全音及半音相比,差数较大(小全音小18音分,大半音大12音分)。这里也是纯律与平均律的相差,比五度相生律与平均律的相差为甚。

此外,在五度相生律和纯律两种律制上音程大小适得其反的 增四度和减五度两种音程〔参看 §56、§75〕,在平均律上变为实际 相同的音程(都是六个平均律半音)。看下例(括弧内的加减数, 表示对平均律的差数)。

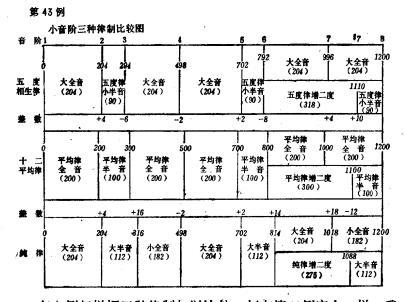
第 42 例

	五度相生律	十二平均律	纯	律
增四度	612 (+12)	600	<b>590</b> (-	-10)
减五度	588 (-12)	600	<b>61</b> 0 (-	-10)

§ 105. 现在试在平均律大音阶上构成三个正三和 弦,看 它们产生怎样的效果? ——先在主音上构成 c—e—g 和弦; 这时和弦的三音 e 音,在平均律上比在五度相生律上为低(低 8 音分),而比在纯律上为高(高14章分)。这里也是平均律对纯律的差数,

比对五度相生律为甚。再在下属音上构成 f-a-c 和弦, 在属音 上构成 g-b-d 和弦; 这时和弦的三音距根音的 音程(分 别 为 f-a 和 g-b) ,在平均律上都比在纯律上为大,即两个平均 律 的三音(分别为 a 音和 b 音),都比纯律上的高14音分(分别从和 弦的根音 f 音和 g 音算起)。这样就大大地影响了和弦的和 谐性 [参看§77]。

§ 106. 其次把三种律制的小音阶加以比较,如下例(注意第 七音,分上下二栏,上栏是自然小音阶,下栏是和声小音阶)。



在上例怎样把三种律制加以比较、与在第41例完全一样。我 们站在十二平均律方面,观察其他两种律制与十二平 均 律 的 差 距。高几音分(大几音分),或低几音分(少几音分),都指对平 均律的差数。对第43例观察后,得出如下的结果,

(1) 差距仍然发生在第二、三、六、七各音上,大体上,

按音阶的次序逐渐增加差数。

- (2)各种全音和各种半音方面的差距,与在大音阶时没有区别。只在和声小音阶上多一种增二度音程,它的差数,在五度相生律大18音分,在纯律小25音分。
- (3)无论在音阶各音上或其间的音程上,都是纯律方面差数较大。即与大音阶一样,平均律比较接近五度相生律而比较远离纯律。
- (4)在大音阶,第三、六、七各音,纯律低于平均律。在 小音阶(自然小音阶),第三、六、七各音,纯律高于平均律。
- (5) 所以,在平均律小音阶上构成三个正三和弦时,其小三和弦的三音,比在五度相生律上为高(高6音分),而比在纯律上为低(低16音分)。这里也是平均律对纯律的差数,比对五度相生律为甚。平均律上这种较低的三音,也影响和弦的和谐性【参看§82】。
- § 107. 此外,在五度相生律和纯律两种律制上音程大小适得其反的增二度和小三度等两种音程〔参看§58、§83〕,在平均律上全都统一起来,变成实际相同的音程。看下例(括弧内的加减数,表示对平均律的差数)。

### 第 44 例

	五度相生律	十二平均律	纯 律
√ 増二度 小三度	318 (+18)	300	274 (-26)
一小三度	294 (-6)	300	316 (-16)
∫减七度	882 (-18)	900	925 (+25)
人 成七度 大六度	906 (+6)	900	884 (-16)
∫ 増五度	816 (+16)	800 .	794 (-6)
√ 増五度 √小六度	792 (-8)	· 800	814 (+14)

增减音程和大小音程,在音程的协和性上属于两个范畴,前 者属于不协和音程,后者属于协和音程。在平均律上被"统一" 起来的增减音程和大小音程(例如增二度和小三度),在协和性 上是淆混不清的〔参看第十章,§238〕。

§ 108. 从大体上看来,平均律是折衷的中庸的一种 律制,它把大半音和五度律小半音折衷了,造成"中庸的"平均律半音,又把大全音和小全音折衷了,造成"中庸的"平均律全音。平均律仿佛把五度相生律和纯律加以调和又折衷,使自己介于两者之间,而稍接近五度相生律。

从实质上看来,平均律是将五度相生律和纯律上错综复杂的 升降音纳入平均律半音体系,在"等音"(enharmonic)的名义下,使'c音等于'd音,也等于\*b音,使c音等于'b音,也等于'b'd音,等等。这样就使平均律有可能解决五度相生律和纯律本身以及相互之间的几种矛盾。这是平均律的重大优点。但是也带来了缺点。例如,平均律在构成和弦时存在和谐性问题,等等。总之,平均律和纯律的矛盾比较显著。

五度相生律和纯律之间的差异,在第四章中已经讲到,现在在第 41 例和第 43 例中把大小音阶加以比较,对这两种律制的差异,就更为明白了。即五度相生律和纯律之间存在的矛盾,是明显的。

三种律制之间存在的矛盾,是错综复杂的。今日一般说来, 主要是十二平均律对五度相生律和纯律的矛盾。关于这,将在第 十章加以详述。

# 第六章 中国律学简史

### 乐制的地区划分

**§ 109**. 在讲律学史之前,有必要先把乐制(乐制包括音阶和律制)在地区方面加以划分。这是因为乐制有地区性的不同,不同地区的乐制其发展和演变的情况亦各相异。

世界各地区的乐制大体可以分为三种体系,即"五声体系"、 "七声体系"和"四分之三音体系"。①

关于乐制的地区划分问题,由于目前乐制资料不足,特别对于非洲和拉丁美洲的乐制资料非常缺乏,亚洲方面的乐制资料也不能满足需要,因此有待于作进一步的研究。将来乐制资料充实了,不仅可以丰富上述的划分法,而且有可能改变这种划分法。

五声体系(即五声音阶体系)分布地区极广,亚洲地区流行于中国、朝鲜、越南、日本、蒙古、苏联在亚洲地区(吉尔吉斯等)和苏联接近亚洲地区(鞑靼、巴什基尔、马里等)等处。五声体系也极流行于非洲地区,并流行于美洲黑人和美洲印第安人之间。

① 把世界各地区的乐制分为三种体系这一理论,最初由我国音乐 学家 王 光 析 (1892--1936)于1925年提出 (见他所著《东方民族之音乐》);在名称和细节方面。 本书略加修改。

七声体系(即七声大小音阶体系)分布于几乎整个欧洲,并 及于美洲。这个体系在古时与古代希腊乐制有密切联系,今日则 在国际间有较大的影响。

四分之三音体系就是在音阶中相邻两音之间存在着"四分之三音"(three-fourth tone)(即"半音"加"半音之半"的音程)的一种乐制。这种四分之三音是阿拉伯民族音阶的主要特征。四分之三音体系除分布于西亚、南亚和北非地区的阿拉伯诸国之外,并分布或及于东南亚的诸国。详言之,四分之三音体系分布于西亚的伊拉克、叙利亚、黎巴嫩、约旦、沙特阿拉伯、伊朗、土耳其等,南亚的印度、巴基斯坦等,以及北非的埃及、突尼斯、阿尔及利亚、摩洛哥等。此外,东南亚的缅甸、柬埔寨、泰国和印度尼西亚等,既存在四分之三音体系,又受五声音阶体系的影响。

三种体系互有影响,自不待言。在同一体系内,不同民族其 乐制又各有特点。

特别要提起的是,三种乐制体系在最初时期,几乎全都采取 五度相生律或与之类似的律制。

§ 110. 下面将分章讲述三种乐制的律学简史或史料。五 声体系只举述中国律学史,七声体系只举述欧洲律学史,这是因为中国和欧洲各国在律学方面有着丰富或较丰富的经验和系统的记载。至于四分之三音体系方面,由于目前资料不足;所以只能作为史料来叙述。这几章所讲的律学简史等,包括着音律研究和律制应用两方面的历史。

· 98 •

## 与古代中国律学有关的音乐知识和问题

§ 111. 在讲述中国律学史之前,有必要把与古代中国 律 学 有关的音乐知识和问题略述于下。

中国是历史悠久、文化发达最早的国家之一。远在奴隶社会的西周(约公元前十一世纪至公元前771年)时期,音乐就有一定的发展。西周统治者凭着自己在政治上的权力,霸占了奴隶所创造的经济财富和文化艺术。据记载,西周宫廷中有着庞大的音乐机构,人数达一千四百多人。其中除了极少数从事行政工作等人员属于贵族之外,绝大多数从事音乐创作和演出的人,都是奴隶。宫廷中有歌颂帝王和供宴会用的乐舞,民间也流传着各种的歌舞。

乐器方面,据 《诗经》所载,西周时就有二十九种之多。当时依照制成乐器的材料,把乐器分为"金、石、丝、竹、匏、土、草、木"八类。这些乐器,从振动状态来看,膜振动和板振动的乐器最多,有鼓、钟(编钟)、磬(编磬)、铃等二十一种,气柱振动的乐器次之,有箫(排箫)、管、笙、埙(音 xūn,勋)等六种,弦振动的乐器较少,只有琴、 瑟二种。〔参看第一章,§ 5 〕。又,当时已有各种乐器合奏的乐队。

§ 112. 根据古籍所载,西周时已出现五声音阶、七声音阶和十二律。关于音阶和十二律这样一套完整的理论体系(如本项下面所说的),难于确说在西周时就已全部完成,可能当时只是初具规模、后人逐渐使之完整化。

古代中国用"宫、商、角、徵(音 zhǐ,止)、羽"作为音阶中各音的名称。以"变"表示低半音,例如"变徵"表示比"徵"

低半音,即比徵低一律。

古代中国用"黄钟"、"大吕"等作为十二律的名称,以黄钟为第一律。高八度的律,冠以"清"字,例如"清"黄钟"。

黄钟的高度在历代各个时期有所不同,约自 'c'至 a' 之间。 古代黄钟的高度,大致相当于今日十二平均律的 f' 音②。为了便 于对照,下例就用 f' 作为黄钟的相当音名。

把十二律和五声、七声音阶相配合,如下例。

#### 第 45 例

洗 宾 a¹ #a¹ b¹ c2 #c2 d2 #d2 e2 f2 相当今日音名 [1 ] [47] gl #gl 琢 徵 角 畜 五 声 音 阶 官 清 徵 羽 角 七声音阶官 畜

上例律名中蕤宾的"蕤",音 ruí,锐(阳平); 无射的"射",音 yì,益。

上例中五声、七声音阶,都以宫为主音(古籍中 主 音 称 为 "调首"),分别称为 "五声宫调式"、"七声宫调式"<sup>®</sup>。这种七声宫调式有一个特点,即半音在第四音和第五音以及第七音和第八

① 汉朝以后,"清"字除表示音阶中高半音的音之外,也表示律中高八度的律。 音阶中高八度的音,一般作某音清声(如宫音清声)。本书因为已有"相当今日音名" 一栏作为对照,所以,凡是高八度的律或音,都加用"清"字。

② 晚周的尺,长度合今日23.0886厘米。用这种尺的九寸作为管的长度,用其三分作为管径,作成一支开管,则此管所发的音,其频率约为693.5。频率693.5,接近今日十二平均律的 \$2音,而比 \$2 低 13 音分 (怎样从频率换算为音分,参看第二章 \$33、\$42和附录一《音分值和频率对照表》)。

③ **音阶和调式,含义基本上相**同,但用法略有差异。由一种音阶中的各音轮流作为主音而构成的各种音阶,一般不称作音阶而称为调式。

音之间,非如今日的大音阶,半音在第三音和第四音以及第七音和第八音之间。这种七声宫调式称为"雅乐宫调式",这个雅乐宫调式,在今日的民歌和戏曲音乐等中常能听到〔参看§142,第61例(1)〕。

黄钟可以作为宫来构成宫调式(这时称为"黄钟宫调"),此外,大吕、太簇等也可以作为宫来构成高度不同的各种五声、七声音阶,犹如今日可以用c音为主音来构成C大音阶,也可以用d、e……等各音为主音来构成D大音阶、E大音阶等一样。即黄钟等十二律可以"轮流作为宫音"(古籍称为"旋相为宫"或"旋宫")。音阶(主要是五声音阶)中各音,又可以轮流作为主音来构成各种调式。例如,以宫为主音,构成宫调式;以徵音为主音,构成徵调式。

§ 113. 在中国, 五声音阶自古至今一直占着重要的 地位。 尽管在中国某些地区(例如西北地区和西北少数民族地区)流行着七声音阶,但是在中国广大地区, 五声音阶始终占着重要的地位。古时在五声音阶中, 常用两个变声(变宫、变徵)作为衬托或丰富五声之用。《左传》中记载着, 昭公二十五年(公元前517年),子太叔说:"为九歌,八风,七音,六律,以奉五声。"(意思是:"奏《九歌》,奏各地的民歌,用七声,用六声,以丰富五声"。)就是说,为了丰富五声音阶,可以加用两个变声;也可以加用一个变声。用一个变声时,可以有变宫而无变徵,也可以有变徵而无变宫,使音阶在五声的基础上出现六声的局面。这种情况,在古时存在,在今天也还存在。

§ 114. 古代中国用振动体的长度来计算音律[§48],那么当时用以计算音律的振动体到底是什么? 是弦,还是管? 即当时是

用弦的长度计算音律呢,还是用管的长度计算音律呢?这个有争议的问题,应该加以研究。

我们知道,用弦定律与用管定律,有很大的差距。因为管(气柱)发音时,管内气柱有一部分突出在管口的外面。因此,用管定律,必须先求得管长度与气柱长度之间的差距的规律,对管长度作"管口校正",才能与用弦定律相符合[参看第一章, §12]。固然从古籍记载来看,管在律学上有重要的地位,管与律制有密切的联系,而且律管还与当时的度量衡有关联,但是从实际的情况来看,很难相信古时是用管定律。中国在远古时,在弦乐器方面,既有一弦一音的瑟,又有按弦出音的琴,两者都是依据弦长度来调整音的高度;同时在管乐器方面,也是既有一管一音的箫(排箫)和笙,又有按孔出音的篪(音 chí,迟;横吹管乐器),两者都是依据管长度来调整音的高度。当时的音乐工作者不难发现,在弦上变动长度与在管上以相同比数变动长度,两者所发之音的高度有很大的区别;而在弦上调整音的高度,要比在管上调整音的高度容易得多,且较易获得规律。

据中国最早提出五度相生律的《管子·地员篇》中所述,似可证明古时曾经用弦定律。《地员篇》中有"小素之首"一语〔看§120引文〕,据张尔田在《清史稿·乐志二》所作的解释。

"小素者,素白练,乃熟丝,即小弦之谓。 言 此 度 之 声, 立为宫位。其小于此弦之他弦,皆以是为主。"

从出土的春秋编钟和曾侯乙编钟的音律的准确性看来,也可证明古时是用弦定律[参看§126、§128]。

历来的律学研究者,有的人明确 提 出 用 弦 定 律(如 王 朴 [\$138]),有的人虽未明确提出用弦定律,但从其理论的正确 性

看来,很可能是用弦定律(如何承天[\$135])。还有一种可能,就是先用弦作定律的实践,获得成果后,再移到管上。晋朝杨泉在《物理论》中所说的"以弦定律,以管定音",似乎就是指这种情况而言。

# 中国律学史的分期

§ 115. 古代中国律学在发展过程中,既存在科学的一面,又存在反科学的一面。反科学的一面,包括维护封建统治的思想(例如说:"宫为君,商为臣……"①之类),宣传封建迷信的思想(例如把律学与卜卦算命纠缠在一起),以及科学技术上的谬误等。在历代进步思想的激发下,在当代的自然科学(例如物理、数学、冶金等)成就的推动下,古代律学在科学的和反科学的两种思想的斗争中或相比较中不断地发展和成长。律学上这种科学的和反科学的两种思想的斗争,在历史上有时先后出现,有时同时存在,而且还会在同一个人的思想中反映出来。在历史人物身上,一身而兼有正反两面,即同一个人矛盾地存在着科学的和反科学的两种律学思想,是屡见不鲜的。

在本章里,试图按照历史唯物主义的观点,区分我国古代律学遗产中的精华和糟粕,提取律学中科学的成就,加以简明的叙述,并在个别情况举述律学中反科学的事例,对于历代律学家,历举他们所作出的贡献,并在必要时指出他们的不足 或 错 误 之处;这是一项清理我国律学的历史遗产的工作,借此可以增强我们的民族自信心。

① 《乐记 乐本篇》有云:"宫为君,商为臣,角为民,徽为事,羽为物。"

§ 116. 作为整个音乐史的组成部分的律学史,不能离开当时的社会历史。同时,律学的发展伴随着音乐发展的特点而具有相应的特点。以中国律学史与欧洲律学史相比,都以五度相生律开始,以十二平均律告一段落;但在这中间相当长的时期内,中国和欧洲的律学的发展道路,却完全不同。这是因为中国和欧洲基于社会历史发展的音乐实践完全不同的缘故。在这中间的时期内,中国方面因一般长期停留在单声体音乐上,使调式发生了多种多样的变化,同时出于"旋宫"[§112]的需要,促进了对新律的探索;而在欧洲方面,则由于多声部音乐的兴起,引起了纯律的研究和应用。中国和欧洲的律学的发展既然各有特点,因此,律学史的分期法亦各不相同。

中国律学史根据中国律学发展的特点,可以分为三个时期。 第一时期是"三分损益"律(即五度相生律)发现时期,约在公 元前七世纪至公元前三世纪,即在春秋(公元前 770 年——公元 前476年)、战国(公元前475年——公元前221年)时期。

第二时期是探求新律时期,约自公元前一世纪至公元十世纪,自汉朝(公元前206年——公元220年)至五代(公元907年——960年)。

第三时期是十二平均律发现时期,在十六世纪,即在明朝(公元1368年—1644年)。

## 第一时期——三分损益律发现时期

§ 117. 春秋(公元前770年——公元前476年)、战国(公元前475年——公元前221年)时,是中国社会由奴隶制向封建制过

渡的时期,社会经历着深刻的变革。铁器和牛耕的出现,使生产力得到前所未有的发展。劳动人民、新兴地主和没落奴隶主都从各自的阶级利益出发,对当时的社会变革发表不同的主张,有的赞成,有的反对。"诸子百家"著书立说,各抒己见,互相批评,在文化上、学术上出现"百家争鸣"的局面。

这个时期,冶金术的提高,为铸造钟等乐器在音高方面的要求,提供了充分的条件。这个时期出现的乐器中,特别可注意的,还有筝和筑(筑是形体比瑟为小的击弦乐器)。

§ 118. 中国古籍中记载科学的律学理论,以《管子·地员篇》为最早。该书相传为管仲所作。管仲(约公元前 730——公元 前 645年)春秋时齐国颖上(今安徽省颖上县)人,齐桓公执政时,起用他为相(相当今日的首相、内阁总理等官职)。《地员篇》是一篇研究土壤学的论文。在该文中,管仲提出了有关音律与农业生产等相关联的论点,把音的高度与井的深度及植物生长三者互相联系起来。又,他把宫、商、角、徵、羽等由低到高的一列音,与家畜的鸣声相比拟。

"凡听徵,如负猪豕,觉而骇。凡听羽,如鸣马在野。 凡听宫,如牛鸣笋(同窨)中。凡听商,如离群羊。凡听角,如雉(音 zhì至,山鸡)登木以鸣,音疾以清"。

§ 119. 在同一论文中,管仲把寓、商、角、徵、羽各 音 的精密高度,作了完全合于科学的论断;即从数理的角度,提出了"三分损益"律。

"三分损益"既是生律的方法,也是定律的方法〔参看第三章, 851〕。即把一个振动体(例如弦)在长度上均分为三段,舍其三分之一,取其三分之二,称为"三分损一"。同样均分为三段,

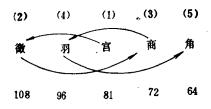
加其三分之一,成为三分之四,称为"三分益一"。如此继续相生而成各律,称为"三分损益法",从精密的定律法看来,就是"三分损益律"。振动体三分损一(﴿{})所发之音,比全长所发之音高纯五度,三分益一({{}})所发之音比原长所发之音 低 纯 四 度 [参看第三章,§53]。下方纯四度就是上方纯五度的转位,所以这种律制就是五度相生律。

### § 120. **《**地员篇》中有云。

"凡将起五音,凡首,先主一而三之,四开以合九九(按即 $1 \times 3^4 = 9 \times 9 = 81$ ),以是生黄钟小素之首,以成宫。三分以益之以一,为百有八(按即 $81 \times \frac{4}{3} = 108$ ),为徵。不无(?)有三分而去其乘(按即 $108 \times \frac{4}{3} = 72$ ),适足以是生商。有三分而复于其所(按即 $72 \times \frac{4}{3} = 96$ ),以是生羽。有三分去其乘(按即 $96 \times \frac{4}{3} = 64$ ),适足以是成角"。

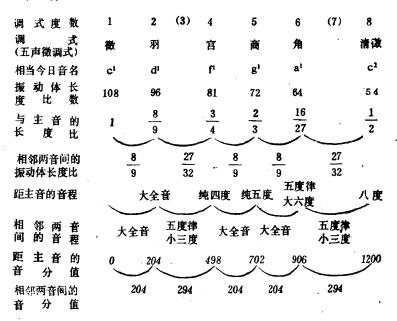
把上面一段引文中所举的生律法和所揭示的数据,作图示之如下。括号内数字表示各律相生的次序。所列数据实际就是振动体长度的比数。

第 46 例



§ 121. 上例除了明示各律相生次序和精密高度之外,还 表示一种调式。这种调式就是"五声徵调式",是中国民族调式的主要调式之一。把这个五声徵调式用表式详加解释,如下例。

第 47 例



例中"调式度数"一栏,是照七声调式计算。凡存在于七声调式而为五声调式所无的音,仍列入度数而加括号为记;这样可以使五声调式与七声调式互相联系。又照习惯加入主音的高八度音,以便于计算全部的音程。

"与主音的长度比"一栏,指各音与主音在振动体长度上的 比数。这个比数由上栏"振动体长度比数"约成,例如。

$$\frac{96}{108}$$
(羽) $=\frac{8}{9}$ 

这个比数的"倒数",就是频率比。由频率比经过换算,即 得音分值[§48]。

在五度音列[第14例]上,五声调式就是由一律出发,向上连

取四律而成,把各律轮流作为主音,可以构成五种五声调式。在五种五声调式上,相邻两音间的音程,都只有大全音和五度律(五度相生律)小三度两种音程,所以,这些调式的构造,都很单纯[参看 §55]。

§ 122. 继《管子·地员篇》之后,有《吕氏春秋·音律篇》 把三分损益法由五律增加到十二律,使调式的范围扩大,可以在十二律上进行"旋宫",构成各种高度的调式。

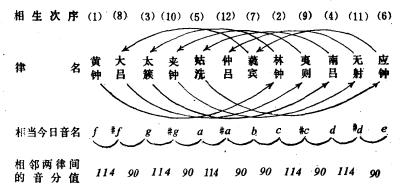
◆吕氏春秋>是战国时吕不韦为秦国的相国(相当今日首相、内阁总理等官职)时(公元前249——公元前237年)其门客所作。其中<音律篇>记载着:

"黄钟生林钟,林钟生太簇,太簇生南吕,南吕生姑洗, 姑洗生应钟,应钟生蕤宾,蕤宾生大吕,大吕生夷则,夷则 生夹钟,夹钟生无射,无射生仲吕。三分所生,益之一分以 上生;三分所生,去其一分以下生。黄钟、大吕、太簇、夹 钟、姑洗、仲吕、蕤宾为上;林钟、夷则、南吕、无射、应 钟为下。"

上面引文中,"益之一分以上生"和"去其一分以下生"所说的"上生、下生",其意义与今日我们所说的上生、下生,正好相反。《吕氏春秋》所说的"上生"("益之一分",即得音),是指振动体长度增加为原长的音;这在今日我们称为"向下生",即产生下方纯四度的音。《吕氏春秋》所说的"下生"("去其一分",即得音),是指振动体长度减少为原长的音;这在今日我们称为"向上生",即产生上方纯五度的音。古今说法各异,但本质是相同的。

成其反。

第 48 例



在十二律上,每次上生一个纯五度(或下生纯四度,它是纯五度的转位),都包括八个律(例如黄钟到林钟),所以五度相生也称为"隔八相生"。

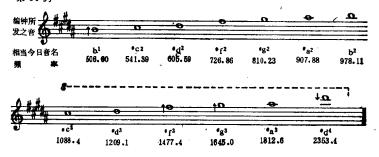
上面是讲古代中国三分损益律——即五度相生律的产生和发展的情况。这种三分损益律—直为后世所承袭。虽然历代在理论上不断探求各类律制,又在实践上存在或可能存在别种律制(存在纯律音程[\$128、\$141],可能存在十二平均律[\$154]),但是,中国数千年来广大地区一直沿用这种三分损益律,直至今日。

§ 124. 三分损益律的产生年代,是一个有争议的问题。争议的焦点在于,《管子》中的《地员篇》是否管仲本人所作。如果该篇确是管仲本人所作,则根据管仲卒于公元前 645 年,可以断定三分损益律产生于公元前七世纪。问题在于,那时的文献著作留存至今的,往往是代表一个流派之作,而非一人之言,前人所写的原始资料,往往与同一流派的后人们所逐渐加入的资料,连同注解夹杂在一起。所以,如果认为《地员篇》不是管仲本人所作,而是后人写了加人《管子》之中的,则三分损益律产生年代应当较晚,可能在公元前四世纪或公元前三世纪,甚至可能在《吕氏春秋》(公元前三世纪)之后。

从三分损益律的律数看来, <地员篇>只算到五律, 而 <吕 氏春秋>算到十二律, 则 <吕氏春秋>所说的应是 <地员篇> 所说的发展, 即 <地员篇>应当较早。这样, <地员篇>为公元前七世纪时管仲本人所作,可能性较大。

§ 125. 1957年在河南信阳出土的春秋编钟,给古代中国律制的研究,提供了极有价值的实物资料。这套编钟经郭沫若同志考证认为,根据最大一口编钟上的钟铭所记,为春秋 鲁昭 公十七年(公元前 525 年)晋灭陆浑戎时事,因而断定这套编钟是春秋末期的制品①。编钟共十三口,各钟所发之音的高度和频率②如下。以第四口编钟为标准,其频率为726.86,与今日十二平均律比较,比'f'音低31音分③(比 f' 音高69音分)。现在在五线谱上记作'f'音,比编钟实际所发之音低十二平均律半音的三分之一。其他各音,照此类推。

#### 第50例



晚周时黄钟的频率相当于693.5, 低于第四口编钟('f²)82音分,不足一个十二平均律半音。很可能这口编钟就是当时黄钟的高度。

① 参看郭沫若《信阳墓的年代与国别》一文, 载于《文物参考资料》1958年第一期。

② 参看杨荫浏《信阳出土春秋编钟的音律》一文,载于《音乐研究》1959年第一期。

③ 怎样从频率换算为音分、看附录一《音分值和频率对照表》。

§ 126. 这套编钟当然可以演奏各种调式。举数例说明如下。一种调式是从 'f' 音 (第四口编钟) 起顺次到达 'f' 音,构成有变 徵而无变宫的六声宫调式 (也可以作为有变宫而无变徵的六声徵 调式),如下例。

館 51 例

调式度等	数 1	2	3	4	5	6	(7)	(8)
编	神 <sup>‡</sup> f²	#g2	#a2	b <sup>2</sup>	#c3	#d3		# <u>f</u> 3
调式(官调式 (或徵调:		商 羽	<b>角</b> 变官	变徵 宫	徵 商	羽 角		清宮 清徵
	的 程	大二度	大三度	纯四度	纯五度	大六度		八度
	钟 0 值	188	<b>38</b> 5	514	699	881		1228
与纯律的 分 值	音 <b>0</b> 差 (0)	-16 (204)	-1 (386)	+16 (498)	-3 (702)	-3 (884)		+28
与十二平均 音 分 值		-12 (200)	-15 (400)	+14 (500)	-1 (700)	-9 (900)		+28 (1200)
与五度相生音 分值		-16 (204)	-23 (408)	+16 (498)	-3 (702)	-25 (906)		+28 (1200)

例中"编钟音分值"一栏,由编钟频率换算而得。"与纯律音分值差"起以下三栏,表示编钟音分值与纯律等音分值比较时的差数。差数下面括号内的数字是纯律等的标准音分值。从这三栏的音分值差看来,编钟的音律接近于十二平均律或纯律,而较远离五度相生律。这个原因何在?——推测有两个可能。第一个可能是,在铸造编钟的春秋时期,在音乐实践中已出现纯律音程[参看§128]。第二个可能是,对编钟的测音不够准确。关于这些

问题,有待于作进一步的研究。

§ 127. 从 b¹音(第一口编钟)顺次到达b²音,也可以构成一个六声宫调式,如下例。这个宫调式与上例不同,有变宫而无变徵。

这里的编钟音分值的换算法,与上例不同,以<sup>1</sup>f<sup>2</sup>音为标准,不以调式第一音(b<sup>1</sup>音)为标准。

在这个宫调式上,从编钟音分值与纯律等音分值 的 差 数 看来,编钟的音律也与前例一样,较接近于纯律或十二平均律,而较远离五度相生律。

#### 第 52 例

春秋编钟除了可以演奏上举几种调式之外,还可以演奏它种调式,例如从 \*c² 音起的商调式、从 \*d² 音起的羽调式,等等。

从上面两例可知,春秋**编**钟的音律,总的说来,还是相当准确的。在钟上校正音律,要比弦和管困难得多,当时能达到这样

的水平,是很不容易的;说明当时已有相当高的校音技术和冶炼 技术。推测当时很可能先在弦上定律,然后,在铸钟时按弦校音。

§ 12.6. 1978年在湖北省随县发掘的曾侯乙墓中出土了大批的乐器,其中有一套编钟,一套编磬,另有排箫、竹笛(可能是篪)、琴、瑟、笙和鼓等多种乐器。特别是这套编钟,为历来出土的编钟中规模最大又最完整的一套,它对我国律学史以至乐器史的研究,提供极其珍贵的资料。

曾侯乙是战国初期一个诸侯国——曾国的君主,他名叫乙。 据考证认为,曾侯乙的墓葬时间在楚惠王五十六年(公元 前 433 年)或稍晚,即进人战国不久的时间。可见这套大型编钟的铸造 时期,应当更早一点。

编钟共六十四口(墓中还有一口"鎛钟"是楚王送来的祭品,不计算在内);按原编悬形式,分上、中、下三层排列。上层各钟用于定律,一般不用于演奏。编钟的音律巧妙地设计了一钟兼发互隔三度的两个音,又视三度音程的大小,分为"纽钟"和"甬钟"两种[详见后文]。由于一钟都能发两音,所以六十四口钟,共能发一百二十八个音。这一百二十八个音中,有许多音其高度相差较小①(一般相邻两音的差距在四分音[\$160]之内),因此可以归纳为六十一律[看下例(1)];即在半音之间包含高度相差较小的数个音(多至五个音)。按照钟上的标音铭文所示,只有五十五律,这里根据编钟的实际高度来归纳和编排,多出了六律(加括号的六律就是标音铭文中所没有的律)。

从钟上的铭文可知,当时已有记示大小三度音程和微小音差 等的特定术语。例如,每一口钟都有两个发音部位,即"隧"和

① 根据上海博物馆青铜器研究组和复旦大学物理系所测定的频率,加以计算。

"右鼓",以便发生互隔三度的两音。在纽钟,隧部位刻有"挈(音 yǔ,羽)曾"字,右鼓部位刻有"翠"字,表示该钟所发两音为大三度音程,在甬钟,则在隧部位刻有"翠"字,在 右 鼓部位刻有"宫"字,表示该钟所发两音为小三度音程。又以后缀"后"(音 yoù,右)字表示高一个"最大音差"(如"宫居"表示比宫音高一个最大音差),用"下"字表示五度相生律①。足见当时对音律实践和音律理论都已达到十分精密的程度。

下例 (1)表示编钟的音域,共有五组,半音基本齐全,高音方面加二律。这个音域只比现代钢琴高低两端各约少一组。最低的 C律,其频率为65.1,比十二平均律的 C音低 8 音分。该律的一口钟,高153.4厘米,重203.6公斤(看148页乐器图,下层,左起第一口钟)。

由于曾国当时以姑洗宫(相当 c 音)为标准音,同时由于曾国当时用频率为512.9(相当 c²,而比十二平均律 c²低35音分)的姑洗宫的标准高度,作为比较各诸侯国流行各律高度的标准,所以下例(2)和(3)都从这个律(c²)出发,按照五度相生律来计算各律(现在用音分值计算)。再者,因为整套编钟以小字二组和小字一组中各律含音较多,便于选择,同时可以较少用到上层各钟(上层钟用于定律),所以现在举这两组为例,既较易得到准确的音律,并可以反映当时演奏的实际音律。

又,在例(2)和(3)中,各律的音分的差数都已写明。差数下面括号内的数字,是五度相生律的标准音分值。

· 115 ·

① 参看黄翔鹏: 《先秦音乐文化的光辉创造——曹侯乙墓的古乐器》 (《文物》, 1979年7月) 和《释楚商——从曾侯钟的调式研究管窥楚文化问题》 (《文艺研究》, 1979年, 第二期)。

```
第53例
```

```
(1)
      c4 ----- d4
      e^3 - e^3 - d^3 - e^3 
      c2-#c2-d2-#d2-e2-f2-#f2-g2-#g2-a2-#a2-
      c! = {}^{\sharp}c^1 = d^1 = {}^{\sharp}d^1 = e^1 = {}^{\sharp}f^1 = {}^{\sharp}g^1 = a^1 = {}^{\sharp}a^1 = b^1
      c-#c-d-#d-e-[-#f-g-#g-a-#a-
      C-(*C)-D-*D-E-F-
              (2)
  生律次序(1)(8)(3)(10)(5)(12)(7)(2)(9)(4)(11)
                                                                                                                                                                         (6)
                                                                                                                  g 2
               名 Ca
                                                                                                                               #g2
                                                                                                                                                                          b²
                                 102
                                                 ď,
                                                              ŧd² e²
                                                                                       f2 #f2
 编钟律的
                                                              326 414 514 614 699
                                                                                                                                             906
                                                                                                                                                         1009
                                                                                                                               809
                                                                                                                                                                     1153
                                  100
                                                 212
 音分 值
  与五度相
                                 -14
                                                 +8
                                                               +8
                                                                            +6
                                                                                         +8 +2 -3 -7
  生律音分
              差(0) (114) (204) (318) (408) (522) (612) (702) (816) (906) (1020) (1110)
  编钟相邻
  两律间的
                             100
                                      112
                                                     114
                                                                      88
                                                                                  100
                                                                                           100
                                                                                                            85
                                                                                                                       110
                                                                                                                                  .97
                                                                                                                                                  103
  音 分 值
 与五度相
                           -14 + 22
                                                                     -2
                                                                                                                                                  +11
                                                                                -14 +10
                                                                                                         -5 -4
                                                                                                                                                                 +54
 生律音分
                          (114) (90) (114) (90) (114) (90) (90) (114) (90) (114) (90)
            (3)
生律次序 (1) (8) (3) (10) (5) (12) (7) (2) (9) (4) (11) (6)
 相当今日
 音、名
                    c1
                                  fc 1
                                                                                                                              # g 1
                                                                                                                                                                         ы
 编钟律的
                                  111
                                               194
                                                             308 395 513 612
                                                                                                                694
                                                                                                                              800
                                                                                                                                           894
                                                                                                                                                        1044 1154
 音分 值
 与五度相
                                   -3 -10 -10 -13 -9
                                                                                                      0
                                                                                                                  -8 -16 -12 +24
生律音分
              第 (0) (114)(204) (318)(408)(522)(612)(702)(816)(906)(1020)(1110)
 编钟相邻
 两律间的
                           102
                                                      114
                                                                                118
                                                                                           99
                                                                                                           82
                                                                                                                      106
                                                                                                                                     94
                                                                                                                                                 150
                                                                                                                                                                 110
 音分 值
 与五度相
                      1-12
                                                                                                           -8
                                           -7
                                                                     -3
                                                                               +4
                                                                                           +9
                                                                                                                        -8
                                                                                                                                  +4
生律音分
                        (114) (90) (114) (90) (114) (90) (90) (114) (90) (114) (90)
```

观察上面例(1)、(2)和(3)时不难看出,显著不准确的律和原编钟缺少的律,几乎集中在 a、 a 和 b 三律上。这可能由于当时在旋宫时不用某些音阶或调式所致。尽管有个别的律显著不准确,但绝大多数的律是相当准确的,从旋宫的角度来看,编钟的律基本上能适应各调的各种音阶(五声音阶或七声音阶)。说明当时在铸钟设计方面、在钟上校音技术方面以至 冶 炼 技术方面,都达到很高的水平;而且比大约一百年前铸造的春秋编钟[\$125]迈进了一大步

最后讲一下各钟所发两音的三度音程的音律问题。从统计的数字来看,接近大三度的数目比接近小三度的较多,即小三度较难达到,不是大了就是小了。大三度中接近纯律大三度(个别完全符合纯律大三度)和接近五度律大三度,数目大致相等。小三度也是如此。说明当时在音乐实践上已经存在纯律音程。推测铸钟时是根据五度相生律,而辅以纯律音程(纯律大小三度),以解决"回到出发律"的问题。

## 第二时期 —— 探求新律时期

§ 129. 从秦朝(公元前221——公元前207年)建立中国第一个中央集权的统一的封建国家开始,一直到唐朝(公元618—907年)前后,中国封建社会处于发展时期。在文化艺术方面,各族人民互相学习,互相交流,并吸取外国的经验,给以融化,使文化艺术的各个领域都日趋繁荣。

隋(公元581—618年)、唐时,宫廷宴享音乐(即广义的"燕乐")非常繁盛。这种燕乐由集合各族人民的民间音乐,并吸收

一些外国音乐而成[详后文§145]。

燕乐的创作者和演奏者大都是各族人民中具有优秀艺术才能 而被征集到宫廷里来的,他们中有的人后来散人民间,对民间音 乐的发展起一定的促进作用。

§ 130. 在这个时期,乐器的种类不断增加,乐器制作方面也逐渐改进。汉朝(公元前206—公元220年)时出现的乐器中,可注意的有笛、阮和箜篌(一种拨弦乐器)。南北朝(公元420—589年)时出现的乐器中,可注意的有锣和方响(一种以铁片为发音体的定音打击乐器)。那时乐队中所用的编钟和编磬,架数大大增加,多至三十余架。隋、唐时,琵琶之类乐器盛行起来。约在唐时出现了胡琴的前身奚(音 xī, 西) 琴。这种拉弦乐器具有丰富的表现力,它的出现,是乐器发展过程中的一次跃进。在音乐方面达于鼎盛时期的唐朝,有大型的乐队,所用的乐器不仅种类繁多,而且多种管弦乐器都有大小各种形制(例如,琵琶就有大琵琶、秦琵琶、五弦琵琶、大五弦琵琶和小五弦琵琶)。同时出现许多制造乐器的名匠,使乐器制作精益求精。

随着音乐的发展和器乐的发达,律学研究也取得新的成就, 音阶、调式也大大丰富起来。

§ 131. 三分损益法生律十一次后(即到第十二律后),不能回到出发的律上,使十二律不能周而复始,给十二律"旋相为官"的理想造成很大的障碍。中国历代律学研究者对这个问题的解决办法,太致可以分为两类。一类的解决办法是,在三分损益法相生到十二律之后,再继续往下生;有的生到六十律,有的竟生到三百六十律。生律越多,固然越有可能回到出发律上;但是这个办法在实践上受到很大的限制,无论在乐器制造或演奏实践方

面,都会遇到困难(虽则在一定律数的范围内可供律学上的科学实验之用〔看 §132〕)。另一类的解决办法是,在十二律本身内调整各律的高度,使十二律中最后一律能回到出发的律上。这个办法才是解决律制的基本方法。

§ 132. 在汉朝(公元前206——公元220年)时,郎中(当时顾问性质的官吏)京房(公元前77——公元前37年)提出了"六十律"的律制。据《汉书・律历志》所载,京房自称。

"受学于小黄(县名,今河南省陈留县东北)令(统治一县的官吏) 焦延寿六十律相生之法。以上生下,皆三生二;以下生上,皆三生四。阳下生阴,阴上生阳;终于中吕,而十二律毕矣。中吕上生执始,执始下生去灭;上下相生,终于南事,六十律毕矣。"

即京房依照三分损益法,从黄钟起相生到中吕,从中吕起继续往下生,得"执事"、"去灭"等律,直到六十律"南事"为止。当生到五十三次(即五十四律)时,已与出发律极相近似〔见下文〕,但是京房为使律数与历数相结合,就凑成六十整数。他把六十律中的每一律,代表一天至八天,六十律正合一年三百六十六天。我们为求简明起见,用今日的音名写出五十四律,列表如下。用 ƒ 为出发律。当生到十二次(即十三律)时,当为 \*e ,这个 \*e 比 f 高一个最大音差〔看 \$63〕。为明白起见,这个 \*e 仍记作 f (不记作 \*e) ,而在其左上侧加一斜线,如/f,表示比 f 高一个最大音差。又用数条斜线,表示升高几个最大音差。例如,当生到二十四次(即二十五律)时,就记以 ll f ,表示高两个最大音差。以下类推。

例中最后一律 III e,比 e 高四个最大音差。我们知道 e-f是

五度律小半音,计90.250音分。四个最大音差,共计93.760音分,约略相当于五度律小半音[参看第三章,\$55](差数只有3.51音分)。所以说,||||e||与f极相近似,两音可以变换,即||||e||可以等于f。京房的六十律就是在理论上提供了通过一种极微小的音差(即3.51音分)来变换音律的可能性。这种微小的音差(3.51音分)可以称为"京房音差"。

#### 第54例

$$f(1) \longrightarrow c(2) \longrightarrow g(3) \longrightarrow d(4) \longrightarrow a(5) \longrightarrow e(6)$$

$$b(7) \longrightarrow f(8) \longrightarrow c(9) \longrightarrow g(10) \longrightarrow d(11) \longrightarrow a(12)$$

$$if(13) \longrightarrow [c(14) \longrightarrow [g(15) \longrightarrow d(16) \longrightarrow [a(17) \longrightarrow [e(18) \times e(19) \longrightarrow f(20) \longrightarrow f(21) \longrightarrow f(22) \longrightarrow f(23) \longrightarrow f(23) \longrightarrow f(24)$$

$$if(25) \longrightarrow [c(26) \longrightarrow [g(27) \longrightarrow [d(28) \longrightarrow [a(29) \longrightarrow [e(30) \times e(31) \longrightarrow f(32) \longrightarrow f(33) \longrightarrow f(34) \longrightarrow f(35) \longrightarrow f(35) \longrightarrow f(36)$$

$$if(37) \longrightarrow [c(38) \longrightarrow f(39) \longrightarrow f(40) \longrightarrow f(41) \longrightarrow f(42)$$

$$if(43) \longrightarrow f(44) \longrightarrow f(44) \longrightarrow f(45) \longrightarrow f(46) \longrightarrow f(47) \longrightarrow f(48)$$

$$if(49) \longrightarrow f(50) \longrightarrow f(51) \longrightarrow f(52) \longrightarrow f(53) \longrightarrow f(e(17) \longrightarrow f(54)$$

§ 133. 如上面的引文所述,京房曾受学于焦延寿,焦延寿搞占卜的迷信行为,京房深受其影响①;但是应该看到,京房的律制还是有它的科学的价值,这是主要的一面。首先,如上所述,它提供了可以变换音律的微小音差。此外,京房的律制在半音或全音之间都有许多律,例如在 c—¹c 音之间就有四个律;

① 《前汉书·睢、两夏侯、京、翼、李列传》: 京房"事梁人焦延寿, ……其 说 长于灾变; 分六十卦, 更直日用事; 以风雨寒温为候, 各有占验。房用之尤精。"

这种繁复的律制应用起来十分困难,但可以在律学上作为科学实验之用[参看第七章, §180、§189、§190]。

还有一点,远在京房之前,在曾侯乙编钟上,半音之间常包含高度极小的数音(多至五个音)[§128],京房的繁复的律制,也有可能在曾侯乙编钟之类的音律实践的基础上,企图从理论方面加以系统化而成。

又,京房曾发现用管定律与用弦定律的不同,首次明确提出"竹声不可以度调"。他创用一种用弦的定律器,称为"准",形状如瑟,长一丈,张着十三条弦。不过,从京房所列的用弦定律与用管定律两相对照的数据的混乱情况看来,说明京房对弦律与管律之间的关系,尚未解决实质性的问题。

§ 134. 京房以后,在南北朝(公元420年——589年)时,南宋元嘉间(438年前后),钱乐之在京房的六十律的基础上,变本加厉地更往下生,一直增至三百六十律,以合一年三百六十日。据《隋书・律历志》所载:

宋元嘉中,太史(当时掌管历法的官吏)钱乐之因京房南事之余,引而伸之,更为三百律。……总合旧为三百六十律,日当一管。"

这就走到律学的反科学的歧途上去了。

§ 135. 与钱乐之同时代,南北朝时何承天(公元370—447年)创制了一种新律。何承天东海郯(音tán,谈)(今山东郯城县)人,在晋朝末期和南朝宋时,历任军政官府中的参军(重要幕僚)、衡阳内史(衡阳地区民政长官)和御史中丞(监察部长官)等职。宋元嘉二十四年(公元447年),密旨任命何承天为吏部侍郎(掌管全国官吏的任免、考核、升降和调动等事务的官署的副

长官),他泄漏密旨而被免职。何承天在思想上是无神论者,曾多次在理论上进行反佛教的斗争。他精通律学和历法。他反对京房的一味增加律数的做法,而在十二律本身内调整各律的高度,使十二律中最后一律能回到出发律上,创造了最早的十二平均律。何承天在中国律学史上迈出了可贵的新的一步,成为世界上最早用数学解决十二平均律的人。《隋书·律历志》援引何承天自己的话说。

"上下相生,三分损益其一,盖是古人简易之法。……后人改制,皆不同焉。而京房不悟,谬为六十。承天更 设 新率,则从中吕还得黄钟。十二旋宫,声韵无 失。黄 钟 长 九 寸,太簇长八寸二厘,林钟长六寸一厘,应钟长四寸七分九 厘强。"

为了更好地理解何承天的新律,先得说明一件事。即: 在第49例,从黄钟生律十一次,得仲吕。如果再从仲吕生律 一次,就得到一个律,它的长度是4.44:

$$6.66 \times \frac{2}{3} = 4.44$$

把4.44移低八度,即乘以2,得8.88。这个8.88,即由黄钟出发,生律十二次之后所得到的一个律的长度,它比黄钟短0.12。

$$9.00 - 8.88 = 0.12$$

何承天因见从黄钟出发,生律十二次不能达到黄钟的长度,而比黄钟短0.12,他就想出把这个0.12分作十二次,分别加在五度相生的每一次相生上,即每次加0.01。这在表面上看来,与第五章所述把最大音差分为十二个,分布于十二次五度相生上[§99],很是相象,但结果是不相同的,因为后者根据频率比,

前者根据振动体长度的差数(不是振动体长度的比数)。频率比不论音的高低如何,总是一样,而振动体长度的差数则愈到高音,差数愈小[\$25]。

尽管从理论上看来,何承天的新律不是准确的十二平均律,但是在效果上,它十分接近十二平均律。从何承天的新律换算而得的各律的音分值,可知各律与十二平均律比较,差数最大的只有无射(15.1音分)。用表式明示如下例。例中"各律振动体长度"一栏,是上栏"新律计算法"的计算结果(如大吕律,8.42+0.07=8.49)。

#### 第55例

生律次序 (1) (8) (10)(5) (12) (7) (2)(11) ('6) 蕤宜 黄 洗 Ä 昌 相当今日 \*\*:0 9.00 8.42 7.11 . 6.66 6.32 6.00 5.62 5.33 4.99 4.74 8.88+0.12 7.49 +0.07 +0.02 +0.09 +0.04 +0.11 +0.06 +0.01 +0.08 +0.03 +0.10 +0.05 各律振动 9.00 8.49 8.02 7.58 7.15 6.77 6.38 6.01 5.70 5.36 5.09 4.79 4.50 体长度 音分值 0 99.2 199.5 296.7 398.0 492.9 595.2 699.0 790.9 896.1 984.9 1091.4 12000 均律的音 0 -0.8 -0.5 -3.3 -2.0 -7.1 -4.8 -1.0 -9.1 -3.9 -15.1 -8.6 -0.0 分值差

§ 136. 从何承天创造最早的十二平均律之后,还经过一段曲折的探索时期,——例如隋朝刘焯[§137]和五代时王朴[§138]都一再在十二律本身内调整各律的长度,但是都没有达到何承天的成功程度,而刘焯还犯了科学技术上的错误,直到明朝,才由朱载堉完成了完全准确的十二平均律[详见后文"第三时期"]。

§ 137. 刘焯 (音zhuō, 卓) 是隋朝(公元581—618年)人,

① 当时黄钟的高度,约合今日的 $^{\$f_1}$ 。这里生律的次序是照五度相生法,但是,音名记法不照五度相生律,而照十二平均律。所以生律至应钟时作 $^{f_1}$ ,不作 $^{\$c_1}$ (如果照五度相生律,应钟为姑洗所生,应作 $^{\$c_1}$ [ $^{\$a_1}$ — $^{\$c_1}$ ])。

当过参议律历等咨询性的官吏。他于公元 604 年提出一种律制,但是这种律制在物理学原理上是完全错误的,因而不可能获得成果。据《隋书·律历志》引述刘焯的计算法。

"其黄钟管六十三为实,以次每律减三分,以七为寸法,约之,得黄钟长九寸,太簇长八寸一分四厘,林钟长六寸,应钟长四寸二分八厘七分之四"。

即以"63除 7"(63÷7)作为第一律黄钟,以后各律照半音的次序(非照五度相生的次序),每次从63递减 3,再除以 7,以生各律。这样构成的十二律,各相邻律之间其振动体长 度 的 差 数(非频率比)都相同,都是0.43。列表如下。

第56例

生律次序(1) (8) (3) (10) (5) (12) (7)(2) (9) (4) (11) (6) (13)姑 仲 无 大 黄 洗 В 宾 則 相当今日 各律振动 9.00 8.57 8.14 7.71 7.28 6.85 6.42 6.00 5.57 5.14 4.71 4.28 3.85 体长度 相邻律的 长度差 音分值 0 79.8 163.7 251.7 344.5 442.5 546.4 656.9 775.1 901.8 1038.5 1186.9 1349.4 与平均律 的音分 -20.2 -46.3 -48.3 -55.5 -57.5 -53.6 -43.1 -24.9 +1.8 +38.5 +86.9 +149.4

刘煒铸成这个律制的错误,其原因在于,他把十二律中相邻两律间的"长度的等差",误为相邻两律间的"音程的等比",因而使构成的十二律的高度十分混乱,而且无法回到出发律。这在上例中音分值和音分值差上看得十分清楚。

4

① 当时黄钟的高度约合今日的 g1 音。

§ 138. 在五代(公元907—960年)时, 王朴提出一种新律。 王朴, 东平(今山东省东平县)人。周世宗时任户部侍郎(当时掌管全国财政部门的副长官)等职。他研究律学和天文历法。周世宗显德六年(公元959年), 王朴提出一种新律。据《五代史·乐志》中所载, 王朴这样叙述他的律制。

"……乃作律准十三弦宣声。长九尺,张弦各如黄钟。以第八弦六尺,设柱为林钟。第三弦八尺,设柱为太簇。第十弦五尺三寸四分,设柱为南吕。第五弦七尺一寸三分,设柱为姑洗。第十二弦四尺七寸五分,设柱为应钟。第七弦六尺三寸三分,设柱为蕤宾。第二弦八尺四寸四分,设 柱 为大吕。第九弦五尺六寸三分,设柱为夷则。第四弦七尺五寸一分,设柱为夹钟。第十一弦五尺一分,设柱为无射。第六弦六尺六寸八分,设柱为中吕。第十三弦四尺五寸,设柱为黄钟之清声。十二律中,旋用七声为均。为均之主者,宫也,微、商、羽、角、变宫、变徵次焉。发其均主之声,归乎本音之律。七声迭应而不乱,乃成其调,均有七调。声有十二均,合八十四调。歌奏之曲,由之出焉"。

王朴这种律制采用三分损益法,用弦定律。但是,从南昌开始,比三分损益律低了一点,以盾各律仍照三分损益法生律,到仲吕突然提高了。生律十二次之后,勉强可以回到出发律黄钟。

上面引文中后面部分,即从"十二律中,旋用七声为均"起,到引文结束这一段话,大意是说"在十二律上轮流构成各种的七声调式"。从这段话看来,王朴很可能旨在探索十二平均律。各律从音分值看来,大都接近十二平均律;差数最大的是 16 音 分(仲吕)。列表明示如下。

§ 138

第57例

(3) (10) (5) (12) (7) (2) (9) (4) (11) (6) (13) 生律次序 (i) (8) 仲 无 大 太 姑 蕤 夷 南 黄 簇 钟 洗 宾 钟 则 吕 吕 射 吕 钟 相当今日 g¹① #g¹ 音 名 #b/@ #c2 d2 #d2 e² #{2 al \*al ы 各律振动 9.00 8.44 8.00 7.51 7.13 6.68 6.33 6.00 5.63 5.34 5.01 4.75 4.50 111 204 313 403 516 609 702 812 904 1014 1106 1200 音分值 0

§ 139. 宋朝(公元960—1279年)蔡元定(公元1135—1198年)提出"十八律"的理论。蔡元定是建阳(今福建省建阳县)布衣(平民)。他在所著《变律篇》认为,何承天的新律"惟黄钟一律成律,他十一律皆不应三分损益之数,其失又甚于房"。(按房指京房。)蔡元定提出的十八律,仍根据三分损益法,生到十二律之后,再往下生六律,共十八律。蔡元定称后加的六律为"变律",例如"变黄钟"、"变林钟"等。六个变律都比原有的同名律高一个最大音差。蔡元定的十八律的理论,显然不是何承天的道路,而是京房的道路,但在律数上有一定的限制。这种律制虽然不能解决回到出发律的问题,但是在一定范围内可以适应各种调式,对当时来讲,还是有一定的实用价值。

## 律学上的新成熟

**§ 140.** 管内气柱振动时,气柱的一部分要突出在管口的外面,即气柱的长度,要比管的长度稍长。因此,计算气柱的频率,

① 当时黄钟高度约合今日的 g1音。

② 依照五度相生律(从 g¹起相生十一次, 至 b¹), 仲昌作 b¹, 不作 c²。 同理, 无射作 \*e², 不作 f²。

或照音的高度计算管的长度时,都必须作"管口校正"。管口校正的数据,就是管的长度与气柱长度之间的差数。在晋朝(265—420)时荀勗(音 xù, 叙)(公元289年卒)得出管口校正的数据和规律。荀勗颖阳(今河南省许昌县)人,在晋朝任秘书监(当时掌管京城宫藏图书的长官)以至尚书令(相当宰相)的官职;又管理音乐事业,考定音律。据《晋书·律历志》所载,荀勗于公元274年制成十二支笛(直吹,象今日的洞箫),以应十二律;笛上开孔(按孔),以合于音阶的各音。他在五度相生律的基础上,调整以他得出的管口校正数,来制定各笛的长度和笛上各个按孔的距离。这个校正数,就是一个律管的长度与另一较高四律的律管长度的差数。据荀勗当时所用的尺(即晋前尺),与晚周尺相同,合今日23.0886厘米[\$112,注②]。当时黄钟的长度,合20.7798厘米。较高四律的姑洗的长度,合16.4186厘米。

20.7798 - 16.4186 = 4.3612

这个差数4.3612厘米,就是荀勗的"黄钟笛"上宫音(黄钟宫) 孔位与吹口相距的长度较短于气柱长度的差数,也就是黄钟笛上 的管口校正数。同理:

大吕的**长度(19.4**591 厘米) - 中吕的长度(15.3751 厘米) = 4.0840厘米。

这个差数4.0840厘米,就是荀勗的"大吕笛"上宫音(大吕宫)孔位与吹口相距的长度较短于其气柱长度的差数,也就是大吕笛上的管口校正数。

荀勗所制的十二支笛中的黄钟笛,以四倍于姑洗的长度,作 为全笛的长度(均以厘米计算):

16.4186×4=65.6744(黄钟笛全长度)

• 127 •

以黄钟的长度和姑洗的长度之和,作为笛上宫音孔位(即第 五孔的孔位):

20.7798+16.4186=37.1984(宫音孔位[第五孔])

这个长度(37.1984)就是管上宫音孔位距管末端的长度,即宫音的长度。把宫音的长度加人管口校正数(4.3602),就是宫音气柱的长度:

37.1984+4.3612=41.5596(宮音气柱长度)

以宫音的气柱长度为基础,根据三分损益法,再减去管口校 正数,就得出笛上徵、商、羽……各音的孔位:

41. 
$$5596 \times \frac{4}{3} = 55.4128$$

55,4128-4.3612=51.0516 (徵音孔位〔第二孔〕)

55. 
$$4128 \times \frac{2}{3} = 36.9419$$

36.9419-4.3612=32.5807(商音孔位[背孔])

$$36.9419 \times \frac{4}{3} = 49.2558$$

49,2558-4,3612=44,8946(羽音孔位[第三孔])

49. 2558 
$$\times \frac{2}{3} = 32.8372$$

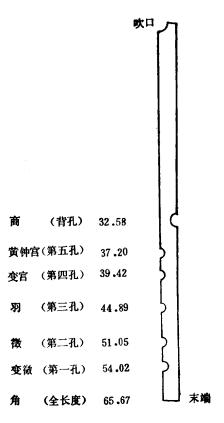
32. 
$$8372 \times \frac{4}{3} = 43.7829$$

43.7829-4.3612=39.4217(变宫孔位〔第四孔〕)

43. 
$$7829 \times \frac{4}{3} = 58.3772$$

58.3772-4.3612=54.0160(变徵孔位[第一刊])

作图示之如下(数字改用小数点后二位,以下四舍五人)。



上例中角音是低八度的角音(倍角)。

杨荫浏同志曾根据上述的荀勗的笛制,作了实验和计算。按 照今日民间最普遍的箫的形制,管径约为1.6厘米,按孔成 椭 圆 形,约0.9×0.7厘米;所制成的黄钟笛,其发音大致符合于三分 损益律;其各按孔的位置,与现代管口校正公式的计算结果,也 相符合。只是由于当时的记载,未说明管径的大小和所开按孔的 大小,因此,要求绝对准确,还存在一些困难。

荀勗在当时能制造出达到这样精确程度的管乐器,又能得出

管口校正的数据和规律, 是对律学的一项重大贡献。

§ 141. 古代中国既有纯律的实践,又有纯律的理论。举例说明。在器乐曲七弦琴琴谱上,纯律音程的应用,很早就已存在。七弦琴的"徽位"(琴弦上按音的位置),非常合于纯律产生的条件。虽说演奏七弦琴时,不一定都正确地按在徽位上,但是在古代七弦琴琴谱中,就有广泛应用泛音的事实。南北朝时,梁朝的丘明(公元494—590年[卒于隋朝])所传的古代七弦琴琴谱、碣石调幽兰谱》中,在十三个徽位上广泛地应用了泛音,产生了纯律的音程。后来在明朝,有好些七弦琴琴谱,也是如此。

七弦琴上七条弦的定音法,通常由低到高作徵、羽、宫、商、 角、清徵、清羽。七弦琴上的十三个徽位如下:

七条弦中每条弦,按琴谱中所用之调,选用适当的徽位。在任何一条弦上,准确按在第三、六、八、十一、十二等徽位上,就能分别发出空弦的纯律大三度、小三度和大六度的音程。上例明示七弦琴的徽位、弦的长度和所发之音三者的关系。关于弦的长度和所发之音的关系,参看第一章第2例。第十三徽位所发之音,是自然七度的转位音〔参看第四章,§79〕。

现在举《碣石调幽兰谱》中两段,说明产生纯律大三度泛音的情况。

第60例



上例中(1)处 b'音,是由第四弦(定弦法一行中 G 音)按第十一徽位而产生的纯律 b'音。(2)处 a'音是由第三弦(F 音)按第十一徽位而产生的纯律 a'音。(3)(4)两处的 b'音,是由第四弦(G 音)按第三徽位而产生的纯律 b'音。

此外,在七弦琴的定弦法上,尚有根据某弦上能产生纯律音程的徽位(如第十一徽)来定另一弦(散声)的方法,使七弦中某些弦符合于纯律音程。例如,宋朝姜夔(白石)(约公元1155年—1221年)在《七弦琴图说》中有这样的记载:

"宫调,五弦十晖(按通"徽")应七弦散声,四弦十 晖应六弦散声,二弦十晖应四弦散声,大弦十晖 应 三 弦 散 声,惟三弦独退一晖,于十一晖应五弦散声。……黄钟、大 吕并用慢角调,故大弦十一晖应三弦散声"。①

上面引文,就是对七弦琴的定弦法[上面第60例第三行],提 出某些较高弦都根据相应较低弦的第十徽(纯四度关系)来定

① 根据《宋史》第一百三十一卷 (中华书局, 1977年点校本)。

弦,唯独第五弦(上例定弦法中的A音)要根据第三弦(F音)的第十一徽来定弦("惟三弦独退一徽,于十一徽应五弦散声"),使第五弦定为纯律音程A音。又当上面第60例中定弦法换为另一种定弦法(慢角调),F音变为E音时,这个E音要根据第一弦(C)的第十一徽来定弦("故大弦十一徽应三弦散声"),使第三弦定为纯律音程 E音。

## 音阶和调式的发展

§ 142. 中国各族人民的民族音乐丰富多彩,又经过了长期的发展,使音阶和调式发生了多种多样的变化。据古籍记载,西周时已出现七声音阶 [§112],这种音阶称为"雅乐音阶"(或称"古音阶"),以后相继出现"清乐音阶"(或称"新音阶")和"燕乐音阶"[看下例]。这些音阶因曾存在于其中的音乐而得名。雅乐音阶曾存在于古时历代帝王宫廷用于典礼和祭祀的"雅乐"中,清乐音阶曾存在于南北朝的汉族民间音乐"清商 乐"①中,燕乐音阶曾存在于隋唐的"燕乐"中(此处燕乐指狭义的燕乐,即隋唐时西北地区[今新疆等地]少数民族音乐及其与汉族民间音乐相融合而成的音乐)[详见 §145],因而得名。但是这些音阶的应用,实际已超出了名称的范围,因为这些音阶尚留存在今日中国各族人民的民间音乐(包括民歌、民间器乐和戏曲音乐)中②。

为了简明起见,以 c¹ 音为主音,把三种音阶加以比较如下

① 据黄翔鹏同志对曾侯乙钟律〔§128〕的研究,认为清乐音阶早在战国初期就已存在。参看黄翔鹏:《释"楚商"——从曾侯乙钟的调式研究管窥楚文化问题》(《文艺研究》、1979年第二期)。

② 实例参看黎英海:《汉族调式及其和声》,1959年,上海文艺出版社。

### ( / 表示半音的所在)。

#### 第61例



§ 143. 上面三种音阶,在五度音列〔第三章,第14例〕上, 是各不相同的。雅乐音阶从 c 音出发,向上连取六律而成,清乐音阶从 c 音出发,向上连取五律,向下取一律而成,燕乐音阶从 c 音出发,向上连取四律,向下连取二律而成。

这三种音阶都是在五声音阶(上例中五声音阶各音记以二分音符)的基础上,于音阶的小三度之间,加人各种不同的音(记以四分音符)而成。在这三种音阶中,其五声(宫、商、角、徵、羽)和加人的二声(变徵、变宫等),在音阶的地位和作用上,是有主次之别的。五声是"正音",其他二声是"偏音"(或称"变音")。这种正音与偏音的区别,是中国五声音阶体系的特征,也是中国五声音阶体系有别于欧洲等地七声音阶体系的主要因素。上举三种音阶的区别,仅仅在于偏音高度的变化上,因此我们可以根据音阶的主音距离两个偏音的音程,来区别三种音阶的特点。

雅乐音阶——含有增四度和大七度清乐音阶——含有纯四度和大七度

### 燕乐音阶——含有纯四度和小七度

§ 144. 上举三种音阶,都可以用音阶中各音(主要是宫、商、角、徵、羽五个音)轮流作为主音,构成各种调式,例如宫调式、徵调式……等。由于音阶中有正音和偏音的区别,因此,当由三种音阶构成各种调式,并在音阶的七个音上各起调一次(即作移调)来构成各调的调式时,某几种调式相互之间,表面上虽然相同,实质上却互相歧异。例如雅乐音阶徵调式和清乐音阶宫调式,在表面上——即在半音位置上是相同的,但是在本质上——即在正音和偏音的位置上却是不相同的。看下例。

### 第62例



同理,下例在同一主音上构成的三种调式,表面上相同,本质上不同,

第63例



§ 144

为了仔细研究音乐遗产,应当分析如上所举的各种调式的差异,但是从音乐发展的角度看来,当调式中的"偏音"趋于"正音化"时,几种相应的调式(如上面第62、63 例所示)的互相融合,是十分可能的。

## 隋唐燕乐的音阶和调式

§ 145. 隋唐音乐发展的标志之一,是隋唐宫廷宴享音乐(即广义的"燕乐")的繁盛。隋唐的燕乐除汉族的民间音乐(例如《清商乐》)之外,还包含大量的少数民族音乐(例如《龟兹乐》①、《西凉乐》、《高昌乐》、《康国乐》等西北地区少数民族音乐),也吸收了一些外国音乐(例如《天竺乐》②、《安国乐》、《扶南乐》、高丽乐》等)。这些外国音乐,很多是先与边区少数民族音乐长期融合,然后传到中原地区。

隋唐燕乐的另一含义(即狭义的燕乐),则指当时西北地区少数民族的音乐,以及这种少数民族音乐和汉族民间音乐相融合的音乐。所称隋唐燕乐的音阶、调式,就是指存在于这种燕乐中的音阶、调式。

§ 146. 隋唐燕乐的音阶、调式,曾经引起古今中外的音乐学家的注意,好些人倾注精力,加以仔细的研究。宋朝蔡元定[§139]

① 龟(音q1u,秋)兹在今新疆西部库车和沙雅二县之间。西凉在今甘肃省西部。 高昌为今新疆中部吐鲁希地区。康国在唐朝是我国西域边区的一个邦园,位置在今新疆西北境外,阿姆河和锡尔河之间的中亚地区。

② 天竺是印度的古译名。安国位于康国之西,是古代中亚国家,在今阿富汗的 北方、约当今布哈拉地区。扶南是印度支那古国,在今柬埔寨一带地区。高丽,今朝 鲜。

曾著有 <燕乐原辨>, ——该书已失, 仅在 <宋史・乐志>中录存别人引述的片段。这种引述的片段, 对研究燕乐音阶的构造等仍有参考的价值。 <宋史・乐志> 记载着元 朝 脱 脱 (公元 1812—1355年) 引述的蔡元定关于燕乐音阶构造的论述如下。

"一宫,二商,三角,四变为宫,五徵,六羽,七闰为角。 五声之号与雅乐同。惟变徵以于十二律中阴阳易位,故谓之 变。变宫以七声所不及,取闰余之义,故谓之闰。四变居宫 声之对,故为宫。俗乐以闰为正声,以闰加变,故闰为角, 而实非正角。此其七声高下之略也。"

上面引文的意思是①,先根据古律(即雅乐律)构成燕乐音阶(这个音阶下文称为古律燕乐音阶),然后把古律和古律燕乐音阶都加以移高,作为燕律和燕乐音阶(这个音阶下文照常称为燕乐音阶,以区别于古律燕乐音阶)。由于引文中把古律燕乐音阶与燕乐音阶互相掺杂,又加入雅乐音阶,因而引起了混乱,使人读了难于理解。

引文中最具关键性也最需要解释的,是"四变为宫"和"七闰为角"两句。"四变为宫"中的"四变",指古律燕乐音阶中的第四音称为"变"音。这个"变"音由"阴阳易位"而生。所称"阴阳易位",指这个"变"音在雅乐音阶中原为"变徵",为古律中"阳律"②的蕤宾,现在变为"阴律"的仲吕。"四变为宫"指这个在古律燕乐音阶中的第四音"变"音,成为燕乐音阶中的宫音。看下例:

① 对这段引文的解释,根据王光祁著《中国音乐史》(1934年)。

② 古时有人把十二律分为阴阳二类,相间而命名;例如,称黄钟为阳律,称大 吕为阴律,等等。

黄①大 太 夹 姑 仲 蕤 林 夷 南 无 应 清 清 清 古 钟吕簇钟洗吕宾钟则吕射钟黄 大 太 8 相当今日 \*f1 \*f1 \*g1 a1 \*a1 b1 c2 \*c2 \*c2 \*d2 e2 \*e2 \*f2 \*f2 \*f2 \*g2 a2 古律燕乐 宫 奋 角变 徵 羽闰 官 音 黄大太夹 仲 林 夷 无 黄大 燕 律 钟则 射 呂 钟 吕 燕乐音阶 羽闰 宫 商 角変 徵

引文中所称的"七闰为角"中的"七闰",指古律燕乐音阶中的第七音称为"闰"音。这个"闰"音在雅乐音阶中相当于"变官",但又不存在于雅乐音阶中("以七声所不及"),所以称为"闰"("取闰余之义")。"七闰为角"指这个在古律燕乐音阶中的第七音"闰"音,成为燕乐音阶中的角音,但又不是"正角",而是较高一律的"清角"[看上例]。又引文中所称"俗乐",即指燕乐。

从上面引文可知,蔡元定所着重说明的"四变为宫"和"七 闰为角",实质上是关于七声音阶构造中两个偏音的 位置问题 [§143]。

在引述蔡元定关于燕乐音阶构造等的论述之后,脱脱申述了 他自己的观点,尽管他的观点是鄙视燕乐的,但他所提到的关于 燕乐音阶构造方面的话,却可以与蔡元定所述的互相印证。

据 < 宋史・乐志 > 记载, 脱脱认为:

§ 146

① 当时古律 (雅乐律)的黄钟、约合今日的  $^{\$f_1}$ 。其余各律按照五度相生律,从  $^{\dagger c_2}$  起相生十一次,至 $^{\times c_2}$ ; 所以,大目作 $^{\$f_1}$ ,不作  $^{\sharp c_1}$ ; 应钟作  $^{\$e_2}$ ,不作  $^{\sharp c_2}$ 

"变宫、变徵既非正声,而以变徵为宫,以变宫为角, 反紊乱正声。若此,夹钟宫谓之中吕宫,林钟宫谓之为南吕 宫者,燕乐声高,实以夹钟为黄钟也"。

上面引文说明,在律方面,燕律的夹钟相当于古律的仲吕("夹钟宫谓之中[仲]吕宫"),燕乐的林钟相当于古律的南吕("林钟宫谓之为南吕宫者"),即燕律的黄钟比古律的黄钟高二律;在音阶方面,燕乐音阶的宫音比古律燕乐音阶的宫音高五律,使燕律夹钟(宫音)起到古律黄钟(宫音)的作用("实以夹钟为黄钟也")[看上面第64例]。脱脱的论点正好与蔡元定说的相吻合。

至于"燕乐声高",当是由于当时器乐趋于发达,弦乐器构造经过改良,使音可以调得较高,获得较好的音色[参看第一章, §18]。

§ 147. 用燕乐音阶中几个特定的音为主音,可以构成几种燕乐调式。根据脱脱在≮宋史·乐志>中援引蔡元定关于燕乐调式的论述〔参看本条注〕,燕乐有四种基本调式,即宫调式、商调式、羽调式和角调式。这些调式基本上由燕乐音阶(即燕乐宫调式)中的音来构成,商调式和羽调式分别由燕乐音阶的第二 音 和第六音作为主音来构成。只有角调式不用燕乐音阶中小七度音作为主音,而改用大七度音(与清乐音阶相同的第七音)作为主音来构成。即角调式不直接用燕乐音阶中的音作为主音来构成,而以清乐音阶(或雅乐音阶)的第五音为主音的燕乐音阶的"角"音,作为主音来构成。现在照燕律的高度,把燕乐四种基本调式列表如下(▽表示半音)。



如果把这四种调式在上例宫调式中七个音上各起调一次(即作移调),就一共得到二十八个调式,二十八个调式各有特殊的名称①。 这就是中国古代音乐史中引人瞩目的燕乐二十八调②。

燕乐四种基本调式,在今天的某些古老器乐曲上,还能找到

① 据《宋史·乐志》授引蔡元定关于燕乐调式的论述所云:

<sup>&</sup>quot;宫声七调(按即七个宫调式): 曰'正宫', 曰'高宫', 曰'中吕宫',曰'道宫', 曰'南吕宫',曰'仙吕宫',曰'黄钟宫', 皆生于黄钟;

商声七调(按即七个商调式):曰'大食调',曰'高大食调',曰'双调',曰'小食调',曰'歇指调',曰'商调',曰'越调',皆生于太簇;

羽声七调 (按即七个羽调式): 曰'般涉调',曰'高般涉调',曰'中昌调',曰'正平调',曰'南昌调',曰'仙昌调',曰'黄钟调', 警生于南昌;

角声七调 (按即七个角调式): 日'大食角', 日'高大食角', 日'双角', 日'小食角', 日'歇指角', 日'商角', 日'越角', 皆生于应钟。此其四声二十八调之略也。"

② 对燕乐二十八调,历来有所争议。首先对这里所说的燕乐音阶是否就是第63例(3) 所示的燕乐音阶,尚有异议。北宋沈括(1031—1095) 认为燕乐音阶宫调式是如第61例(1)。其次,对二十八调也有两种说法,一种如本书根据蔡元定和沈括所说,认为二十八调由四种基本调式在七个音上各起调一次而得;另一种则如清 朝 凌 廷 堪(?—1809)在所著《燕乐考原》中所说,认为二十八调由七种基本调式在四个音上各起调一次而得。

它的踪影。例如,陕西《鼓乐》所用的"上、尺、六、五"四调,北京智化寺《管乐》所用的"正、背、皆、月"四调,以及福建《南乐》所用的"四腔、五腔、五腔四仪、倍思"四调,从各调(主音)的高度关系看来,与燕乐四种基本调式,似有联系,虽则陕西鼓乐等四调是指调的高度,不是调式。同时燕乐羽调式和角调式,又与新疆《十二木卡姆》的调式有联系[详见下文]。

§ 148. 如前所述,隋唐燕乐包括着汉族和少数民族的音乐,也吸收了外国的音乐[§145]。少数民族的音乐中,以龟兹的音乐最为突出。外国音乐又可能较多通过龟兹,先与龟兹 音 乐 相 融合,然后传入中原地区。在龟兹音乐中,则以苏祗婆(Sujīva)的琵琶音乐及其调式具有较突出的地位和较大影响。

有关苏祗婆琵琶音乐的调式理论,据<隋书·音乐志>记载郑 译所说:

"考寻乐府钟石律吕,皆有宫、商、角、徵、羽、变宫、变徵之名,七声之内,三声乖应,每恒求访,终莫能通。先是周武帝时(公元561—578年)有龟兹人曰苏祗婆,从突厥皇后人国<sup>①</sup>,善胡琵琶。听其所奏,一均之间,间有七声。因而问之,答云,'父在西域<sup>②</sup> 称为知音,代相传 习;调 有七种'。以其七调,勘校七声,冥若合符。

- 一曰'娑陁力', 华言平声, 即宫声也;
- 二曰'鸡识',华宫长声,即南吕声(按疑是商声之误)也,
- 三曰'沙识',华言质直声,即角声也;

四曰'沙侯加滥',华言应声、即变徵声也,

① 公元568年,周武帝迎娶突厥木杆可汗之女为皇后,苏祗婆随同进入长安。 突厥是今新疆北部阿尔泰山南麓一带的古代国名兼族名。

② 西域是今新疆和新疆以西一带地方。

五曰'沙腊',华言应和声,即徵声也, 六曰'般赡',华言五声,即羽声也;

七曰'俟利蹇'(音shà, 霎),华言斛牛声,即变宫声也。 译因习而弹之,始得七声之正。然其就此七调,又有'五 旦'之名,旦作七调。以华言译之,'旦'者即谓'均'也。其声 亦应黄钟、太簇、林钟、南吕、姑洗五均,已外七律,更无"调 声"。

上面引文中的"一均之间,间有七声",可以解释作"在八度音程内有七个音"。又,引文中的"五旦"和"旦作七调",可以解释作"以音阶中五个音轮流作为主音来构成五种调式(与§144所述的用音阶中的五个正音轮流作为主音来构成五种调式 相 同),然后在音阶中七个音上各起调一次(即作移调)。"这样就一共得到三十五个调式。这就是苏祗婆琵琶音乐的三十五调。

今日新疆维吾尔族的古典民族音乐《十二木卡姆》常以七声 音阶中的六个音(除掉第四音)来构成六种调式。六个音的高度关 系如下。

第 66 例



这可能与古代苏祗婆琵琶音乐的调式(五旦)有关。

§ 149. 苏祗婆琵琶音乐的调式理论的来源问题,存在着不同的看法,或谓源自印度①,或谓与阿拉伯音乐有联系②。从调名看来,苏祗婆的调式理论,确实与印度音乐有紧密的联系。例如苏祗婆的七调中"鸡识"(kaiśika[印度梵文])之与燕乐商调式的

① 日本林謙三(Hayashi Kenzo)主此说; 见所著《隋唐燕乐调研究》(郭珠若译), 1936年, 商务印书馆版。

② 王光祈主此说; 见所著《中国音乐史》上册, 1984年, 中华书局版。

小石(食)调,"般赡"(pancama)之与燕乐羽调式的般涉调,调名都很近似。从律制看来,前面《隋书·音乐志》的引文中有"三声应乖"一语,似指苏祗婆七调中"沙侯加滥"和"侯利蹇"分别与中国的变徵和变官在高度上根本不同,而与阿拉伯音阶中的中立三度和中立六度[第八章, §198]有类似之处。由于印度音乐和阿拉伯音乐都是四分之三音体系,两者易于沟通,加上当时外国音乐常荟集于中国西北少数民族地区,两者较多接触机会,因此,苏祗婆的调式理论可能与印度音乐及阿拉伯音乐双方都有血缘关系。苏祗婆祖辈世代从事音乐,长期吸收印度和阿拉伯音乐,在本民族的音乐溶炉中加以融化,然后由苏祗婆传入中原,这是十分可能的。

# 第三时期——十二平均律发现时期

§ 150. 明朝(公元1368—1644年)处于封建社会没落、资本主义萌芽的时期。明朝中叶以后,农业生产的发展较慢,但是出现了工场手工业,并得到普遍的发展,一些地区的纺织业,已带有资本主义的萌芽性质。自然科学的各个领域的研究,都有进一步的发展。明末,西方的自然科学开始输入,使中西的科学(如数学)得以融汇贯通。

在这时期,音乐中器乐方面的特点之一是,民间中小型器乐合奏在各地出现或巩固。这种合奏由管弦乐器加打击乐器组成。 例如,西安的〈鼓乐〉、北京智化寺的〈管 乐〉、江苏的〈十番鼓〉等。

自然科学新的发展,推动了律学取得巨大的成就——十二平·142·

均律的发明。

§ 151. 明朝朱载堉(1536—1610?)发明十二平均律,这是对中国律学史上一项重大的贡献。他提出的数据,与今日的十二平均律完全相同。但是,当时的统治阶级对这一重大发明没有给以重视,更谈不到予以施行。

朱载堉是明朝贵族郑恭王朱厚烷的儿子。由于统治阶级的内部矛盾,其父受处分人狱。朱载堉不满当时的腐败政治,在其父人狱期间,筑土室于宫门外,独居十九年,钻研律学、数学、天文历法和舞蹈,直到其父获释,才回到王宫里。其父死后,朱载堉不肯承袭爵位,而以著述终身。在所著《乐律全书》中,有《律学新说》、《律吕精义》等多种音乐论著。他的十二平均律的理论,最初发表在他的早期著作《律学新说》中。《律学新说》有万历十二年(1584年)的序文,可见朱载堉发明十二平均律,是在1584年之前。他称十二平均律为"密率",其计算法如下:

"度本起于黄钟(按比作  $c^{\text{①}}$ )之长,则黄钟之长,即度 法一尺。命平方一尺为黄钟之率;东西十寸为句,自乘得百寸 为句幂,南北十寸为股,自乘得百寸为股幂;相并,共得二 百寸为弦幂。乃置弦幂为实,开平方法除之,得弦一尺四寸 一分四厘二毫一丝三忽五微六纤二三七三〇九五〇四八八〇 一六八九,为方之斜,即圆之经,亦即蕤宾( $^{*}f$ )倍律之率。 (按即  $\sqrt[2]{1^{2}+1^{2}}=\sqrt[2]{2}=1.414213\cdots$ 。当时开方必须先 有方积。)以句十寸乘之,得平方积一百四十一寸四十二分 一十三厘五十六毫二十三丝七十三忽〇九五〇四八八〇一六

· 143 ·

① 朱载堉所用的黄钟的高度,约合今日的 $^{f}$ d¹音。现在为便于对照起见,把黄钟比作 $^{c}$ 。

八九,为实,开平方法除之,得一尺一寸八分九厘二毫〇七 忽一微一纤五○○二十 -〇六六七一七五, 即南吕 (a) 倍 (接即  $\sqrt[2]{1 \times \sqrt[2]{2}} = \sqrt[4]{2} = \sqrt[2]{1.414213\cdots} = 1.189$ 207……。)仍以句十寸乘之,又以股十寸乘之,得立方积一千 一百八十九寸二百○七分一百一十五厘○○二毫七百二十一  $\triangle \bigcirc$  六十六忽七一七五,为实,开立方法除之,得 九厘四毫六丝三忽〇九纤四三五九二九五二六四 即应钟(b)倍律之率。(按即  $\sqrt[3]{1\times1\times4/2}$  = <sup>3</sup>/1.189207······=1.059463······。)盖十二律黄钟为始,应钟 终而复始,循环无端。此自然真理,犹贞后元生,坤 尽复来也。是故各律皆以黄钟正数十寸乘之、 倍数十寸○五分九厘四毫六丝三忽○九纤四三五九二九五二 六四五六一八二五为法, 除之, 即得其次律也, 安有往而不 盖由三分损益, 别造密率, 致也。是故新法不用三分损益, 其详如下: 夹钟 姑洗 仲吕 蕤宾 林钟 夷则 南吕 黄 太簇 无 财 黄 射 钟 钟 倍律 倍律(e) 正律(c) 倍律(c)二〇〇〇〇〇〇……  $\hat{d}$  $\widehat{\underline{\textbf{\textit{d}}}}$  $\widehat{f}$  $\widehat{f}$  $\widehat{g}$ •c <u>b</u> (a) 一一八九二〇七…… (\*8) 一二五九九二一····· 一八八七七四 一四一四二一三…… 一〇五九四六三…… 一三三四八三九…… 七八 六八一七九二…… 五八七四〇一…… 四九八三〇七…… 一七九七

朱载堉的计算法,从今日的算法看来,等于先把 八度 开二方:  $\sqrt[2]{2}$ ,得1.414213…,为八度的一半,即十二平均律中六个半音处的 f。再开二方:  $\sqrt[2]{1.414213}$ ,得1.189207…,为八度的四分之一,即三个半音处的 f 。如果从 f 算起,则为 f 。再开三方:  $\sqrt[3]{1.189207}$ ,得1.059463…,为八度的十二分之一,即半音的 f 。亦即任何律的高一律[参看§101,第40例]。

朱载堉所称的"倍律",是比正律低八度。所列的数字,表示振动体(弦)长度。这些数字,在朱载堉的原书上,一直写到二十五位;这里只写到七位。把上列的数字与第 40 例 "频率 倍数"一行相对照,则两者数字完全相同,只是前后次序恰巧颠倒。这是因为上列的数字表示振动体长度的倍数,而振动体长度与频率适成反比的缘故。

§ 152. 朱载堉在发明十二平均律的同时,发现以管定律与以弦定律的不同,提出"异径管律"论,以期起到管口校正的作用。"异径管律"论就是,各律以半音进入较高次一律时,管不仅要缩短长度,同时要缩小围径。朱载堉在所著《律吕精义》一书中,在规定各律管长度的同时,规定律管内径(直径)的大小;

"置黄钟正律通长一尺为实,以十亿乘之,以十亿零五 千九百四十六万三千零九十四除之,得九寸四分三厘八毫七 丝四忽三微一纤,为大吕(按大吕的长度)。

置黄钟正律内径三分五厘三毫五丝五忽三微三纤为实,以十亿乘之,以十亿零二千九百三十万零二千二百三十六除之,得三分四厘三毫四丝八忽八微四纤,为大吕(按大吕的内径)。

置大吕正律通长九寸四分三厘八毫七丝四忽三微一纤为 实,以十亿乘之,以十亿零五千九百四十六万三千零九十四 除之,得八寸九分零八毫九丝八忽七微一纤,为太簇(按太 簇的长度)。

置大吕正律内径三分四厘三毫四丝八忽八微四纤为实,以十亿乘之,以十亿零二千九百三十万零二千二百三十除之,得三分三厘三毫七丝零九微九纤,为太簇(按太簇的内径)。……"

上面引文就是说,各律管以十二平均律半音由低 向 高 迭 进时,须把律管的长度依次除以 1.059463094 ( $=\frac{1}{2}$ /2 ,即引文中"以十亿零五千九百四十六万三千零九十四除之"〔参看\$151,引文〕,使其缩短,同时把律管的内径依次除以 1.029302236 ( $=\frac{2}{4}$ /2 ,即引文中"以十亿零二千九百三十万零二千二百三 十 六除之"),使其缩小。

§ 153. 比利时音响学家马容[第一章, §12]于 1890 年发 表报告说,他曾依照朱载堉提出的关于律管长度和内径的数据,就黄钟的倍律(低八度)、正律和半律(高八度)三律加以实验,认为三律在八度关系上都符合 be 音,而且完全准确。

杨荫浏同志也曾照朱载堉提出的数据作实验,但 发 现 有 误 差。杨荫浏同志认为,要完全符合十二平均律,须把朱载堉提出的 各律管内径"依次除以 1.029302236(= $\sqrt[24]{2}$ )",改为"依次除以 1.059463094(= $\sqrt[12]{2}$ )(即同样用改变律管长度的除数)①。

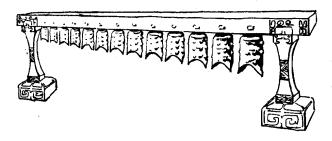
管口校正的原理,除了调整管径之外,还必须把管壁厚薄以

① 详见杨荫浏:《中国音乐史纲》, 1952年, 上海万叶书店版。

及管长度与管径的比例等因素,都加入计算[参看第一章,§12]。 马容和杨荫浏同志照朱载堉提出的数据作实验时,可能由于各人 所用的律管其管壁厚薄等因素有所不同,因而得出不同的结果。

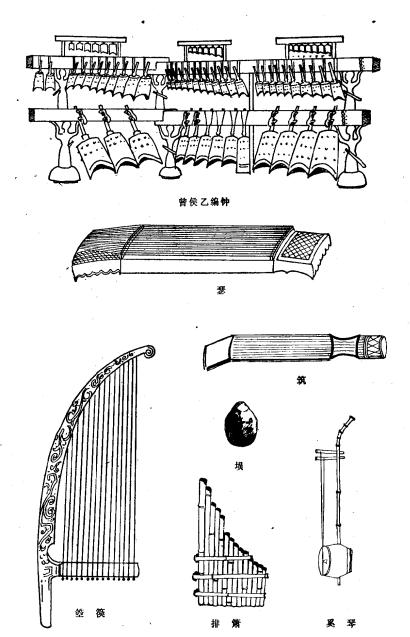
§154. 从明朝朱载堉发明了十二平均律之后,一直到清朝(公元1644—1911年),其间虽有人在整理古代中国律学方面作出了贡献,但对律学本身没有新的建树。清朝的最高统治者(如康熙皇帝)在律学问题上完全是倒行逆施的;在理论上反对朱载堉的十二平均律和"异径管律"论,宣扬唯心的离奇的律论,在实践方面铸造天坛编钟一套十六枚(照半音编排),竟无一枚高度是准确的,半音误差多至50音分左右①,谈不到根据何种律制。

须加注意的是,朱载堉发明的十二平均律虽未被施行,但是在民间,长期以来,琵琶之类乐器从其定音的方式(即在不同高度的弦上应用固定距离的品柱)以及从移调方面看来,可能在实际上早已接触到十二平均律问题。关于这个问题,有待于作进一步的研究〔参看第七章,§183〕。



春秋编钟

① 根据刘复、《天坛所藏编钟编磬之鉴定》。



• 148 •

## 第七章 欧洲律学简史

### 欧洲律学史的分期

§ 155. 欧洲律学史可以分为三个时期。第一个时期是 五 度相生律时期,约自公元前六世纪至公元十四世纪。第二时期是纯律时期,约自十五世纪至十七世纪。第三时期是十二 平 均 律 时期,自十八世纪至二十世纪。

在三个时期,音乐分别存在着单音体、复音体和主音体三种体裁。而三种律制 (五度相生律、纯律和十二平均律) 分别与三种音乐体裁相适应。即三种律制分别通过三种音乐体裁的实践而存在和发展着。

在欧洲,新兴的资产阶级曾经针对着封建主义,先后发动过两次文化思想革命运动——即文艺复兴运动(十四世纪到十六世纪)和启蒙运动(十八世纪)〔详见\$164、\$181〕。这两次文化思想革命运动,使欧洲音乐一次又一次地发生变化,不断取得新的成果,同时对律制的变迁和发展也起积极的作用。文艺复兴推动了纯律的研究和应用,启蒙运动促进了十二平均律的应用。

有一点必须注意,这几种律制的变迁,并不是一种新的律制 完全代替了旧的律制,而只是新的律制在一个时期占着优势(或 只在某方面占着优势),旧的律制依然存在。因此几种律制之间 总是存在着矛盾。

# 第一时期——五度相生律时期

§ 156. 欧洲律学史的第一时期,即自公元前六世纪至公元十四世纪,是应用五度相生律的时期。这段时期包括着欧洲奴隶制社会(约自公元前九世纪至公元五世纪)的一部分时期和封建制社会(约自公元五世纪至十七世纪)的绝大部分时期,经历了二千多年漫长的历史时期。

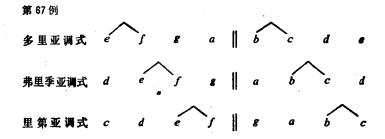
在古代欧洲奴隶制社会的文化中占重要地位的,是古代希腊的文化。奴隶劳动为古代希腊文化创造了物质基础。 古 代 希腊的这个时期,盛行戏剧,在戏剧中有独唱和合唱,用器乐作为伴奏。这种戏剧,对于音乐的发展具有一定的意义。又这个时期,在科学技术方面也很有成就。许多哲学家同时是卓越的科学家。在物理学和数学等方面的成就,对律学产生积极的作用。

§ 157. 古代希腊音乐是单音体音乐。音阶的音数由五声增至七声,完成了古希腊音乐的七声体系。这种七声体系的音阶,经加入主音的高八度音之后,与当时作为乐制基础的"四音列"(tetrachord)完全符合。因为七声音阶加入八度音之后,共有八个音,正好可以划分为两个相同的四音列〔看下面第69例〕。这种把七声音阶分为两个相同的四音列的做法,在近代欧洲音乐理论中尚广泛采用。

§ 158. 古代希腊人对律学有很大的贡献。早在公元前 六 世纪,就有哲学家兼数学家毕达哥拉斯(Pythagoras,公元前582—493)对律学进行研究。他用"一弦器"(monochord)作为实验

工具(他后来把一弦器的弦数增加),用数学来研究当时音阶的 定律法,提出了五度相生律。他认为,用五度相生法可以得到音 乐中所有的音。这种律制不仅对当时的希腊音乐有影响,而且对 以后的欧洲音乐也有极其深远的意义。

§ 159. 我们知道,根据五度相生律构成的大音阶和自然小音阶,构造单纯,各相邻两音间仅有大全音和五度律小半音两种音程[§55]。古代希腊的七声音阶有三种主要的调式,即"多里亚"(dorian)、"弗里季亚"(phrygian)和"里第亚"(lydian)三种调式。这三种调式根据五度相生律定律时,也具有单纯性,各相邻两音间仅有大全音和五度律小半音两种音程,只是在各种调式中,全音和半音的位置不同罢了。古代希腊调式,各音习惯由上而下排列,现在改成我们习惯的形式,由下而上排列,如下例(入表示半音):



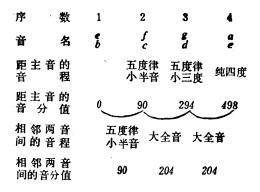
关于各种调式的详细的构造,下面仅举多里亚调式为例,其余可以类推。在五度音列中,从c 音起向上连取五律,向下取一律,把e 音作为主音,排列成音阶,就是多里亚调式,如下例:

第-68 例



上例可以分为上下两个四音列,两个四音列的构 造 完 全 相 **●** 同:

第69例



§ 160. 四音列在古代希腊音乐中具有重要的作用。在 理 论上,它是音阶构成的基础,在演奏上,它是里拉琴(lyra)定音的根据。第67例所示的三种调式中,只有三种类型的四音列,第一种是半音(五度律小半音)在第一音和第二音之间,第二种是半音在第二音和第三音之间,第三种是半音在第三音和第四音之间。古代希腊人就用这三种四音列,作各种的配合,演成各种

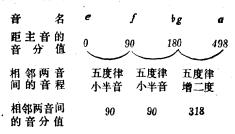
各样的调式。

上面三种四音列,都是"自然"(diatonic)四音列。后来加入变化音,构成"变化"(chromatic)四音列,例如于多里亚四音列中,将 g 音换为  $^{\flat}g$  音。此外尚有"四分音"(enharmonic)四音列,例如于半音 e-f 之间,加入"半音之半"(即四分音)  $^{\dagger}e$  (照今日的记谱法,用"半升号" 表示升高"半音之半")。这种微小的音程,古代希腊人用在唱歌的伴奏上,犹如现代音乐的经过音一般,以为装饰。

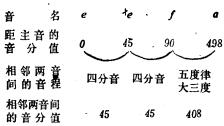
现在把变化四音列和四分音四音列,根据毕达哥拉斯的五度相生律,列表如下例:

第70例

#### (1)变化四音列



### (2)四分音四音列



四分音是毕达哥拉斯以后才提出的。最初由阿开塔斯[§161]

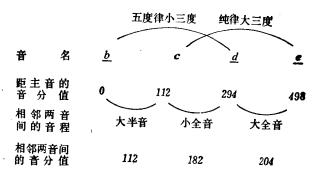
提出将 e-f 缩小为近似 "三分音" (即全音的三分之一音) 的音程 (频率比为  $\frac{28}{27}$ , 计 63 音分);后来这音程再行缩小,变成四分音。这种四分音的产生公式,无从稽考,现在暂把五度律小半音的90 音分均分为二,计 45 音分,作为四分音的音分值。

上举的各种四音列(包括如第68例七声调式所划分成的四音列),其第一音至第四音,都是纯四度。即在四音列,高低两端的音构成纯四度,在这种相距纯四度的两音之间,作各种音程的变化。在理论上是这样,在演奏实践上也是这样。以四条弦为标准的里拉琴,就是这样定弦,把第一弦和第四弦定为纯四度,然后把中间两弦,定为各种高度,构成各种的四音列。

- § 161. 在毕达哥拉斯以后,在古代希腊相继出现一班人,从事于律学的研究。毕达哥拉斯根据数学来研究律,属于"理论派",后起的一班人则主张根据听觉来定律,属于"和声派"。他们之中有的人曾发现纯律音程以至纯律音阶。现在把他们按年代先后举述如下:
- (1) 阿开塔斯 (Archytas, 公元前400-365), 法律家兼数学家,在公元前408年光景,发现量的纯律大三度。
- (2) 阿里斯托塞诺斯(Aristoxenos, 公元前约354—?), 哲学家兼数学家。据说在公元前350年光景, 凭听觉(非凭音程计算)提出十二平均律。
- (3) 埃拉托斯塞尼斯(Eratosthenes, 公元前276—195), 数学家,在公元前200年光景,发现 8 的纯律小三度。
- (4) 蒂第莫斯 (Didymos, 公元前63—10) ,发现 10 的 小全音,又发现大全音和小全音之差 80 (普通音差) [\$71]。所以后人亦称普通音差为"蒂氏音差" (didymic comma)。蒂第莫斯

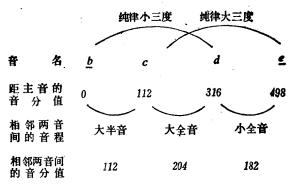
构成纯律的四音列, 如下例,

第71例



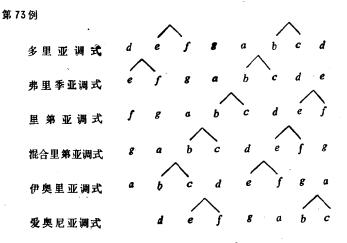
(5) 托列密(Ptolemy,公元后二世纪时人),天文学家兼数学家,构成另一种纯律的四音列,如下例:

第72例



§ 162. 在欧洲,相当于封建社会时期(约自公元五世 纪 至十七世纪)的中世纪,教会采用"中世调式"。中世调式原是民间音乐的调式,经教会采用后才成为教会音乐的调式。中世调式虽然袭用古代希腊调式的名称,但是实际并不与希腊调式的名称相符合。例如,中世调式中的多里亚调式,在古代希腊称为弗里

季亚调式。通用的中世调式有六种,如下例(人表示半音):



关于这种调式的详细的结构,下面举多里亚调式为例,其余调式可以类推。根据五度相生律,在五度音列中,从c 音起向上连取五律,向下取一律,将d 音作为主音,照音的高度 顺次 排列,就是多里亚调式,如下例:

#### 第74例

中世调式与古代希腊调式一样,根据五度相生律构成时,其

构造也具有单纯性,各相邻两音间仅有大全音和五度律小半音两种音程,只是在各种调式中,全音和半音的位置不同罢了[§159]。

§ 163. 在欧洲中世纪,九世纪以前一直采用单音体音乐,九世纪以后,多声部音乐开始萌芽。初期的多声部音乐仅用八度、纯四度和纯五度音程的同时结合,在协和性方面与五度相生律没有矛盾,所以,在这段时期在律制方面采用五度相生律而无问题。到了十四世纪,多声部的复音体音乐进入了确立时期,三度和六度音程的同时结合得到了普遍的使用,这时五度相生律才显得不相适应,而促使纯律付诸应用[详见后文]。所要注意的是,即使在纯律应用时期,五度相生律也未曾消声匿迹。直至今日,距五度相生律的提出和应用已有数千年之久,其间律制曾数度变迁,而五度相生律的余风遗韵一直留存而不衰[详见第十章, \$243—\$246]。

### 第二时期——纯律时期

**§ 164.** 欧洲律学史的第二时期,约自十五世纪至十七世纪, 是纯律时期。

十四世纪中期,在意大利的佛罗伦萨等城市,工业方面已处于资本主义生产的萌芽状态。欧洲的封建社会开始向资本主义社会转变。新兴的资产阶级反对封建制度束缚和反对教会统治的斗争,汇成为一场资产阶级文化革命运动,即所称"文艺复兴"运动。文艺复兴发源于意大利,不久就传播到欧洲各国。当时欧洲各国的文艺家为了创造新文艺,群起发掘和研究古代希腊的文艺。

文艺复兴在历史上曾起推动革命和发展文化的重大作用,并

给后世以深远的影响,虽然它不可能没有时代局限性,例如当时 文艺家的反封建、反教会的斗争,大多还是在宗教的旗帜之下进 行的。

§ 165. 受文艺复兴运动的激发,音乐在内容和体裁以及乐器应用和制造等等方面,都起了新的变化。宗教音乐得到显著的提高,同时反映日常生活的音乐也发达起来。复音体音乐进人新的阶段,在十六世纪时达到了明晰、简练的地步,主音体音乐开始发生,到十七世纪初期而确立。多种多样的中世调式[\$162],逐渐归并为大音阶和小音阶,到十七世纪初期基本上完成了大小调体系。

乐器由只充当声乐(包括歌剧)的伴奏,逐渐获得独立的地位,至十七世纪形成了独立的器乐,有独奏、重奏和合奏。独奏乐器以"管风琴"(organ)、"拨弦古钢琴"(harpsichord)、"击弦古钢琴"(clavichord)和小提琴为主。合奏以拉弦乐器——特别是小提琴为主,掺入各种古提琴(viol)[§179]。另外还有各种拨弦乐器、管乐器和打击乐器等。

由于当时自然科学有很大发展,进步的科学技术使乐器制造 有较大的改进,精良的技术操作和精密的音律计算,使纯律能在 键盘乐器(以管风琴为主)上以一定的方式实现。

§ 166. 十四世纪初期,正值复音体音乐确立时期,那时 就有人注意到纯律的音程,想把它应用在多声部的结合上,以期获得和谐的效果。英国修道士奥丁同(Walter de Odington,卒于1300光景),把千余年前希腊和声派诸家所倡导的 纯 律 理 论[§161]重新提起,他于1275年至1300年间,提出纯律的三度音列。

德国科隆的音乐理论家弗朗科 (Franko von Köln, 十三世

纪时人) 把纯律大三度(量)和纯律小三度(量)作为协和音程。

法国作曲家兼理论家 维特里(Philippe de Vitry, 1291—1361) 把纯律小六度(♣) 作为协和音程。

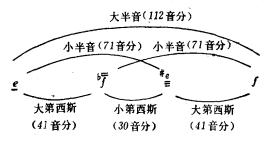
又,法国音乐理论家莫里斯 (Johannes de Muris,约1325年生) 把纯律大六度 ( $\frac{5}{3}$ ) 作为协和音程。

综合上面各人所提出的纯律音程,就是纯律大小三度和大小 大度。这些纯律音程的提出,可以视为文艺复兴时期 纯 律 的 先 声。以后不断有人探求古代希腊音乐的律制,使律制在纯律道路 上迈步前进。

§ 167. 十六世纪时,意大利作曲家兼理论家维成蒂诺 (Nicola Vicentino, 1511—1572),仿希腊的四分音 [§160],于 e-f 之间,置以 e 和 f 二音 [看第75例]。他称 e-f 和 e-f 之间的音程为 "大'第西斯'" (diesis)(频率比为  $\frac{128}{128}$ ,计 41 音分);又称 f f f f 包间的音程为 "小第西斯"(频率比为  $\frac{3125}{3072}$ ,计 30 音分)。算式和图式如下 [参看§87、§91];

$$\frac{16}{15}$$
(大半音)  $\div \frac{25}{24}$ (小半音)  $= \frac{128}{125}$ (大第西斯), 41音分  $\frac{25}{24}$ (小半音)  $\div \frac{128}{125}$ (大第西斯)  $= \frac{3125}{3072}$ (小第西斯), 30音分

第75例



大第四斯(41音分)大于小半音(71音分)之半,小第**西斯**(30音分)小于小半音之半。

其它音程之间,都可以插入类似的升降音。于是就在八度内构成一列细密的律,维成蒂诺曾根据这种密律,制成一架风琴,称为"高精风琴"(arciorgano),装有六排常规的键盘。

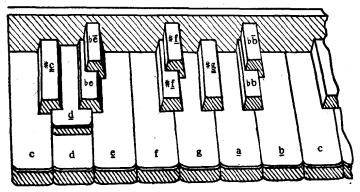
§ 168. 十五世纪西班牙音乐理论家兼作曲家拉莫斯(即拉美斯) (Bartolomé Ramos [Ramis] de Pareja, 1440—1521?) 除把纯律大小三度作为协和音程之外,还根据蒂第莫斯的四音列 [§161(4)]构成一种纯律七声音阶,如下例:

第76例

#### c d e f g a b (c)

这个音阶与今日的纯律大音阶不同之处,只在  $\underline{d}$  音。因为这个音降低一个普通音差,就使  $\underline{c}$  一 $\underline{d}$  之间变为小全音,而  $\underline{d}$  一 $\underline{e}$  之间成为大全音了〔比较第 24 例〕。拉莫斯提出的纯律大音阶,至差里诺[ $\S$ 169]而成为近代的纯律大音阶。

§ 169. 差里诺 (Giosephe Zarlino, 1517—1590) 是十六世纪文艺复兴运动全盛时期意大利著名的音乐理论家。他对律学方面的贡献是,他不仅对纯律而且对中庸全音律[§172]和十二平均律都有一定的研究。此外他首先揭示和弦的原理,为近世和声学作好准备。差里诺提出的纯律大音阶就是通常所称的纯律大音阶。差里诺为了应用纯律音阶,在他著作中设计一种键盘,如下图。

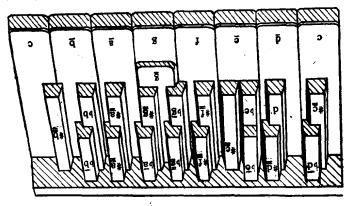


这个键盘包含如下的十六律:

第78例

§ 170. 差里诺的键盘,在转调上极受限制;半世纪后,经法国音乐理论家美孙 (Pater Marie Mersenne, 1588—1648) 再加以研究,于1637年发表如下的键盘设计:

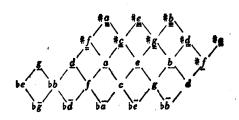
第79例



§ 170

这个键盘包含如下的二十五律。

#### 第80例



§ 171. 自从复音体音乐盛行以来,作曲家对于多声部的配合,只知道把各音就各种音程加以结合,而不知各音之间纵的关系原是"和弦"关系。十六世纪时,主音体音乐已经发生,和弦的构造已经明显。差里诺根据当时的音乐实践,在所著《和声原理》等书中,提出了和弦构成的原理。他这种理论,既为主音体音乐的理论——和声学作好准备,而且给纯律的和弦构造提供科学的根据。

#### 第81例



§ 171

上例(1)构成大三和弦,(2)构成小三和弦。差里诺认为,大小三和弦的区别,由于大三度和小三度的位置不同而生。大三度在下方,小三度在上方,就构成大三和弦,小三度在下方,大三度在上方,就构成小三和弦。差里诺又把当时的各种调式,依其主三和弦(即调式第一音上所构成的和弦)的性质(大三和弦或小三和弦)区分为大调式和小调式两类,为近世和声学中的大小调体系奠定基础。

## 纯律在键盘乐器上的实现——中庸全音律

§ 172. 上面所讲的纯律,属于理论和科学实验方面。纯 律在音乐实践方面是怎样的情形呢? ——这有两个方面,一是应用在键盘乐器上,另一是应用在"无伴奏合唱"(a cappella)上。先讲在管风琴上怎样实现纯律。

从十四世纪以来,管风琴制造大兴于德国。十六世纪初,有管风琴家兼"琉特琴"(lute,一种拨弦乐器)演奏家什里克(Arnold Schlick, 1460—1520以后)著《管风琴制造者及管风琴家之镜》一书(成于1511年),提出一种特殊的平均律。这种平均律与一般的平均律不同,它仅把纯律的大全音和小全音加以平均,所以称为"中庸全音律"(mean-tone temperament)。

什里克因见五度 音列 c-g-d-a-e 中的 e 音和 c 音不 谐和,须把 e 音降低为 e 音才纯然相和,他就把 e 音所高于 e 音的普通音差,分为四个更小的音差,分布于五度音列的 g、d、a……各音上。即把每次相生的纯五度,都减少"普通音差的四分之一"。这个方法与\$99所述的完全一样。在\$99,最大音差由相生

十二次而产生,所以把最大音差分为十二个小音差,生律一次,都减少"最大音差的十二分之一"。现在普通音差由相生四次而产生,所以把普通音差分为四个小音差,生律一次,都减少"普通音差的四分之一"。

先求中庸全音律的纯五度的频率比:

$$\frac{3}{2}$$
 (纯五度)  $\div \sqrt[4]{\frac{81}{80}}$  (普通音差)  $=\frac{299}{200}$  (中庸全音律 五 度) 计 697音分

为简便起见,可以用音分计算。以 $\frac{c}{4}$ 代表普通音差的四分之一(即 5.5 音分),照五度相生法生律一次,减少5.5 音分。以 $\frac{2c}{4}$ 代表普通音差的四分之二(即11音分),生律二次,减少11音分。 余类推。作图示之如下(括弧内的音分是算式,算式下面是该律的音分值)。

#### 第82例

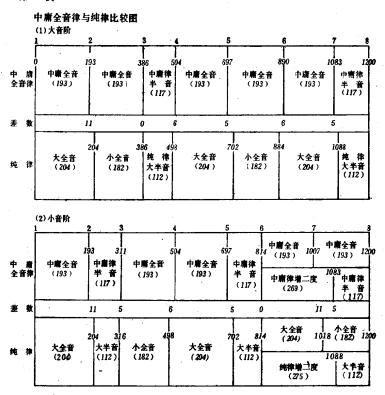
中庸全音律五(四)度音列

(1) 
$$e = g - \frac{c}{4} - d - \frac{2c}{4} - a - \frac{3c}{4} - e - \frac{4c}{4} (=e)$$
 — (702-5.5) (204-11) (906-16.5) (408-22) 音分值 679 193 890 386  $\frac{b}{4} - \frac{c}{4} - \frac{*f}{4} - \frac{2c}{4} - \frac{*c}{4} - \frac{3c}{4} - \frac{*g}{4} - \frac{4c}{4} (=e)$  (1088-5.5) (612-11) (92-16.5) (793-22) 1083 601 76 771 (773)

由 c 向下生(五度), 改为向上生(四度):

§ 173. 根据中庸全音律的五度音列,构成大音阶和小音阶, 与纯律作比较,如下图(图内数字表示音分值)。

#### 第83例



看上例,中庸全音律有它的特点和优点。全音只有一种,不分大小,它比大全音小 $\frac{2c}{4}$ ( $\frac{2c}{4}$ 即普通音差的四分之二,11音分),而比小全音大 $\frac{2c}{4}$ 。这种全音称为"中庸全音"(mean-tone)(频率比是 $\frac{2c}{4}$ ),计193音分)。"中庸全音律"即由此而得名。

中庸全音律的半音(频率比是 $\frac{183}{171}$ , 计117音分)比纯律大半音 (112音分) 大 $\frac{c}{4}$ ( $\frac{c}{4}$ 即普通音差的四分之一),即大5音分。( $\frac{c}{4}$ 应

当是5.5音分,由于计算上尾数有误差,所以微有出人。)

根据中庸全音律构成的大音阶,不象纯律大音阶那样复杂, 而有一种单纯性,即只有一种全音(中庸全音)和一种半音(即中庸全音律半音,简称中庸律半音)。

在中庸全音律,大三度由两个中庸全音合成,与纯律大三度 完全一致。上例(1)中1-3、4-6、5-7各音程,都是纯律大三度。

中庸律小三度由中庸律半音和中庸全音合成(310音分), 比 纯律小三度(316音分)只少6音分。(在上例(2),1一3的小三度作 311音分,相差1音分,这是由于计算上尾数误差所致。)

中庸律大六度(890音分) 比纯律大六度(884音分)大 6 音分。 中庸律小六度与纯律小六度相同。

中庸全音律其大小三度和大小六度都合于纯律,即它能发生 纯律的效果。这是中庸全音律的主要优点。中庸全音律用在大小 音阶上构成和弦时,能发生纯律的效果,同样,用在当时的各种 中世调式上构成和弦时,也能发生纯律的效果。

根据中庸全音律构成的大音阶或小音阶上,其第二音比纯律 第二音低11音分。这个差数,在各音的差数中是较大的。这是中 庸全音律的不足之处。

中庸全音律有很多的优点,主要是能发生纯律的效果,解决了和弦发音和谐的问题;这样就使中庸全音律成为中世纪键盘乐器上最通行又最佳的律制。在十二平均律流行之前,欧洲盛行这种律制达数百年之久。即使在十二平均律盛行之后,尚有继续使用中庸全音律的事实。例如在德国,十八世纪后期,管风琴还沿用这种律制。

§ 174. 中庸全音律能在一定范围内转调,但是当进入十七世纪,器乐获得独立的地位以后,转调(包括各种调的应用和触及它调的变化音)日趋复杂化,中庸全音律就显出它的局限性。中庸全音律只能适应七个大调(C调、G调、D调、A调、F调、b调、'E调)和四个小调(a调、d调、g调、c调)。在第82例所示的五度音列上,以c音为主音,向上连取五律,向下取一律,就构成C大调。依同法,可以顺次构成上举其他大调。再以a音为主音,向上连取二律,向下连取四律,就构成 a 小调。依同法,可以顺次构成上举其他小调。中庸全音律只能在这个范围内转调,超出这个范围,就会发生显著不准的音程。

第82例所示的五度音列,共有十三律,照十二律来讲,已超出一律。如果把向下生的最后一律 a 取消,则向上生的最后一律 g 音与向下生的最后一律 e 音相接触,就发生显著不准的音程:

773音分(
$$^{4}g$$
) - 311音分( $^{4}e^{\frac{3c}{4}}$ ) = 462音分

这个音程即属于所谓"狼音"①(wolf), ——言其音粗杂刺耳,似狼嚎。

这个狼音实际是由于 <sup>1</sup> g 音与 <sup>1</sup> a 音有很大差距、 <sup>1</sup> g 音不能代替 <sup>1</sup> a 音而产生。为了解决这个问题,什里克曾把 <sup>1</sup> g 音和 <sup>1</sup> a 音加以折衷,找出一个中间的音:

$$(773[ {}^{\bullet}g] + 814[ {}^{\bullet}a]) \div 2 = 793.5$$

这个793.5音分的音,比 g 音高20.5音分(20.5音分约等于普

① 狼音一词泛指乐器调音不准和乐器制造不良所引起的一切不和谐之音。

通音差),而比 a 音低20.5音分。

但这只是权宜之计,并未彻底解决问题。也就是说,中庸全 音律虽然能在一定范围内转调,但是不能彻底解决纯律本身所存 在的矛盾——回到出发律的问题[§97]。

§ 175. 中庸全音律经什里克提出之后,还有人继续加以研究。例如,西班牙盲人音乐理论家萨里那斯(Francisco de Salinas, 1513—1590)、意大利数学家、天文学家兼哲学家罗西(Lemme Rossi, 1602—1673)、德国乐器制造家西尔柏曼(Gottfried Silbermann, 1683—1753)和差里诺[§169]等都曾致力于这种律制的研究。他们中,有人将什里克在五度音列上选减的 $\frac{c}{4}$ [§172]加以改变。例如,罗西把它改为 $\frac{c}{5}$ ;西尔柏曼把它改为 $\frac{c}{6}$ ;差里诺把它改为 $\frac{c}{7}$ 。照差里诺的方法,构成五度音列如下( $\frac{c}{7}$ 的音分值是 3.1)。

#### 第84例

$$c = -\frac{8}{7} - \frac{2c}{7} - \frac{d-\frac{4c}{7}}{d-\frac{4c}{7}} - \frac{a-\frac{6c}{7}}{d-\frac{6c}{7}} - \frac{8c}{7} - \frac{b-\frac{10c}{7}}{d-\frac{6c}{7}}$$
  
(702-6.2) (204-12.4) (906-18.6) (408-24.8) (1110-31)  
音分值 695.8 191.6 887.4 383.2 1079

$$\begin{array}{ccc}
c & \longrightarrow & f + \frac{2c}{7} \\
& & (498+6.2) \\
& & 504.2
\end{array}$$

差里诺的这种律制,有下列的一些特点。即, $e-\frac{8C}{7}$  (383.2 音分) 比纯律 e 音 (386音分) 低普通音差 的 七 分 之 一, $a-\frac{6C}{7}$  (887.4音分) 比纯律 e 音 (884音分) 高普通音差的七分之一。根据差里诺的五度音列构成的大音阶,也是一种中庸全音律,只是

全音(191.6音分)比什里克的中庸全音(193音分)为小,而半音(121音分)则较大(什里克的中庸全音律的半音是117音分)。

差里诺的这种律制,约在十六世纪时曾付之实用,引起音乐家的注意和赞许。不过,我们一般说中庸全音律,是指什里克的中庸全音律而言。

### 纯律在无伴奏合唱上的处理法

§ 176. 纯律本身存在两种矛盾。一种矛盾是 d—a 不能构成 纯五度 [\$76],另一种矛盾是随着转调的复杂化,律数无限增加 而不能回到出发律 [\$97]。在中世纪时期不能回到出发律的矛盾, 主要表现在键盘乐器上(键盘乐器上所用的中庸全音律不能彻底 解决这个矛盾)。 d—a 不能构成纯五度的矛盾,主要表现在无伴 奏合唱上。

在纯律大音阶上构成三个正三和弦时,固然完全和谐,可是如果构成其他和弦(例如 d-f-a),就不完全和谐。因为 d-a不是纯五度,它比纯五度少一个普通音差。今有一列和弦进行,其中包括这个 d-f-a 和弦,我们不用伴奏把它演唱起来时,倘要保持和弦的纯度(即和谐),就保证不了音的高度不起变化。例如:

第 85 例



由于第三个和弦要求纯(和谐),就不得不将 d² 音变为 d² 音, 于是后面两个和弦就跟着降低下去了, ——降低一个普通音差。

· 169 ·

如果一个无伴奏合唱队连续唱这样或类似这样的乐句五次,整个合唱队就要降低半音了。

§ 177. 要想知道中世纪如何解决这个问题,只有研究 当时作曲家的处理手法。举当时的作曲家帕列斯特里那(Giovanni Pierluigi Palestrina, 1525—1594)的作品为例。帕列斯特里那是十六世纪文艺复兴全盛时期意大利著名的作曲家。他长期任罗马教会的作曲家和合唱指导。他的复音体音乐作品以明晰著称。他在无伴奏合唱中,曾用下面两个办法,巧妙地解决纯律本身中存在不纯音程的问题,既保持和弦的纯度,又保持合唱队的正确高度。

第一个办法是,省去了音阶的第六音(即第88例 C大音阶中的 <u>a</u>),同时使各声部仍保持平衡。例如把第85例中后面三个和弦处理成这样(看下例最后三个和弦)。



倒数第三个和弦省去了音阶中的第六音 (d)。

另一个办法是,把音阶中的第六音作临时的变动,即升高一个普通音差。例如在第88例 C大音阶中把 a 音变为 a 音。这不是单纯的演唱技术问题,而且是作曲者处理声部的作曲技术问题;作曲者处理好这个问题,能使演唱顺利进行。看下例。注意例中第四、五小节女低音部的进行。第五小节的 d 音(音阶的第六音)

由于前面的 e 音只是经过音,因此可以顺利地变为 d 音,使 d 音 到 g 音(音阶的第二音)保持纯四度。



第86例第三小节,情况相类似,第六音可以变动,改用 d 音。 纯律中这种临时升高(升高一个普通音差)的变动,今日我们只凭古时的理论和作品而得知。在当时的无伴奏合唱的演唱实 践中,曾否严格采用这样的变动,是个疑问。因为声乐不象键盘 乐器,有数据和实物可以查证。

§ 178. 以后还有人对纯律的这种临时变动,加以系统化,这里顺便提述一下。即认为纯律大音阶除第六音可以变动之外,第二音也可以变动,——第二音可以降低一个普通音差。例如在下例C大音阶中,把d音变为d音。即d音如果与a音同时结合,为使两音保持纯五度,d音可以变为d音[参看第85例]。这时,d音宜放在内声部,并注意,不至由于这种变动而使继起的和弦跟着低下去。

这样, 纯律大音阶有两个音可以变动。第二音可以降低一个普通音差, 第六音可以升高一个普通音差。如下例(为了适应上举二例, 并列入F大音阶)。

第88例

类似的情况是,小音阶也有两个音可以变动,如下例:

#### 第89例

1 2 3 4 5 6 7 8 c 
$$\frac{d}{d}$$
  $b\overline{e}$   $f$   $g$   $b\overline{a}$   $b\overline{b}$   $c$   $(bb)$ 

§ 179. 当纯律在键盘乐器上以中庸全音律的方式 实 现,在 无伴奏合唱上以临时变动高度等方式实现的时候,在小提琴一类 乐器上,五度相生律仍有很大的势力,这就使当时以小提琴等拉 弦乐器为主体的器乐合奏在律制上产生了矛盾。

当时的器乐合奏,主要用拉弦乐器,除小提琴之外,还有各种古提琴,键盘乐器通用拨弦古钢琴,间或加入管风琴,铜管乐器不占重要的地位。小提琴以纯五度定弦,各种古提琴一般有六条弦,低音和高音方面都用纯四度定弦,仅中间两条弦用三度定弦。意大利式的定弦法如下:

### 第 90 例



=



所以,在器乐合奏,既有小提琴和各种古提琴保持着五度相 生律,又有应用中庸全音律的键盘乐器吸引着小提琴等去适应纯 律,两种律制互相矛盾。

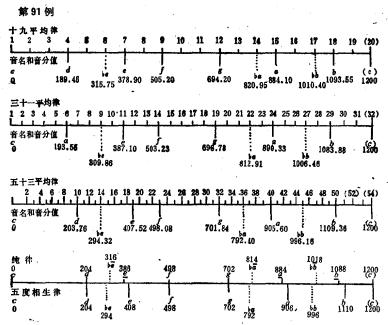
§ 180. 为求解决纯律本身存在的矛盾以及 纯 律 和 五 度 相 生律两种律制之间存在的矛盾,当时曾有人提出各种律数的平均 律。例如:

约在1590年,奥地利爱尔萨兹(Elsasz)提出"十九平均律"。每律计63.15音分。全音用三律,计189.45 音分,半音用二律,计126.30音分。

其后有荷兰数学家兼音乐家惠 更 斯 (Christian Huygens, 1629—1695) 根据维成蒂诺提出的把大半 音 分 为 三 律 的 原 理 [§167] (按这原理,全音可以用五律),提出"三十一平均律"。每律计38.71音分。全音不分大小,都用五律,计193.55音分,半音(大半音)用三律,计116.13音分。

比利时数学家兼地理学家麦卡托 (Gerardus Mercatos, 1512—1594) 提出"五十三平均律"。每律计22.64音分,即每一律几乎都相当一个普通音差 (22音分)。全音不分大小,用九律,计203.76音分,半音用四律,计90.56音分。

现在把三种平均律所构成的大小音阶与纯律及五度相生律比较,作图如下。每行横线表示一种律制,线上数字为律数,线下数字为音分。纯律和五度相生律则记在一条线上。



从上例看来,十九平均律和三十一平均律,都比较接近纯律,而五十三平均律则接近五度相生律。由于五十三平均律每一律几乎都相当一个极大音差,所以,这种制度只要在某种音程中变动律数,就可以适应纯律。这样,五十三平均律既能解决五度相生律和纯律本身存在的矛盾,又能解决两种律制之间存在的矛盾。这种律数繁多的律制,无论在乐器制造方面或在演奏实践方面,都会发生困难,但可以在律学上作为科学实验之一。

# 第三时期——十二平均律时期

\$181. 欧洲律学史的第三时期,自十八世纪至二十世纪,是 采用十二平均律时期。 十八世纪,法国工商业得到进一步的发展。经济日益巩固、政治趋于成熟的资产阶级,与封建制度的斗争急剧发展。资产阶级进步思想对封建制度的批判以及社会革新的主张,汇成为另一次文化革命运动——"启蒙运动"。启蒙运动继承文艺复兴运动【\$164】,在反对封建束缚和反对教会统治斗争上,比文艺复兴运动更为剧烈,更为深入。与文艺复兴运动一样,启蒙运动曾在历史上起推动革命和发展文化的重大作用,虽然不能超出时代所给予它的局限。

§ 182. 整个十八世纪(延续到十九世纪),欧洲社会出现资本主义上升时期资产阶级生气蓬勃和进取向上的精神,音乐也进入划时代的发展时期,不仅音乐创作方面,而且在音乐理论方面,都产生新的成果。由于启蒙运动大力宣扬自然科学,科学技术得到进一步发展,使音乐理论的科学研究,——特别是音乐理论中自然科学方面的研究,进入了新的阶段。

在这个时期,主音体音乐不仅巩固,而且积极发展起来,同时复音体音乐进入新的时期。器乐从十七世纪获得独立的地位以后,转调(包括各种调的应用和触及它调的变化音)日趋繁复,键盘乐器上所用的中庸全音律渐感不便[\$174];经过一段时间的探索,终于在十八世纪初期,为了适应器乐的繁复转调的需要,积极采用十二平均律,使十二平均律发挥了巨大的作用。

§ 183. 十二平均律的发现,可能较早。据说,拉莫斯[§168] 发现西班牙民间拨弦乐器."吉他琴"(guitar)及其类似乐器."维慧拉琴"(vihuela)其指板上的定音品柱都照半音安置,同时用等比例的半音构成音阶,他得到启发,约在十五世纪末提出十二平均律的理论。

据可靠记载,从十六世纪起,不断有人从事十二平均律的研究。例如,萨里那斯[§175]于1577年,差里诺[§169]于1588年,斯台文 (Simon Stevin)于1596年,各发表过十二平均律。其后十七世纪时,有美孙[§170]于1636年发表过十二平均律,德国作曲家、风琴家兼音乐理论家威克迈斯特(Andreas Werckmeister, 1645—1706)于1691年,也发表了十二平均律。

到十七世纪前半,十二平均律的理论和实验基本 上 已 经 完成。十七世纪间就有作曲家开始应用这种律制,例如英国作曲家布尔(John Bull, 1563—1628)等曾在"威金琴"(virginal)作品中按照十二平均律自由应用转调。

§ 184. 巴赫 (Johann Sebastian Bach, 1685—1750) 是 划时代的德国作曲家之一,同时是发挥十二平均律的巨大作用的人。他于十八世纪前期,集中前人对十二平均律所作的理论研究和实践的成果,在创作上充分发挥十二平均律的效能,给后世以巨大的影响。他分别在1722年和1744年写成上下两卷《平均律钢琴曲集》,在该曲集内,他有系统地依次用十二个大调和十二个小调,作成"前奏曲"和"赋格曲",用创作实践证明这个律制的合理性。在他以前,例如"C大调和"c小调是完全不用的。巴赫凭着等音〔§108〕的互换,任何调都可以应用,又可以自由转调。从此以后,转调的范围就大大地扩充了。

## 音乐理论中科学研究的新阶段

§185. 由于启蒙运动的激发,适应主音体音乐实践的需要, 法国作曲家兼理论家拉莫(Jean Philipe Rameau, 1683—1764) 在巴赫写成《平均律钢琴曲集》上卷的同年(1722年),发表重要的论著《和声论》。拉莫的这部著作,对当时的主音体音乐给与有力的理论建设,奠定了近世和声学的理论基础。拉莫深受法国启蒙思想家、哲学家笛卡尔(René Descartes,1596—1650)的影响,以物理学作为和声理论的基础。他根据差里诺提出的和弦原理[\$171],再凭"八度近似性"[\$257],把各种转位的和弦,归纳于同一和弦中。例如把 e-g-c 和 g-c-e 和弦都视为具有同一根音 c 的 c-e-g 的同一和弦。这在当时还没有人知道。

拉莫首次把倍音的原理应用于音乐理论中,阐明大三和弦各音所以能和谐,是由于和弦中上方各音与根音所含的倍音相一致的缘故。拉莫把大三和弦的构成,归因于倍音,使差里诺的大三和弦的构成原理[§171],得到新的科学论据。

§ 186. 倍音[§7]的发现及其各种研究,对音的分析 提 供了科学的论据,对音乐理论起了极大的积极作用。

倍音的原理最初为十七世纪法国音乐理论家美孙[§170]所发现,后由法国音响学家索菲尔(Joseph Sauveur, 1653—1716)加以说明。近世德国音响心理学家兼生理和物理学家赫尔姆霍茨(Hermann Helmholtz, 1821—1894)等对倍音的研究作了大量的工作。

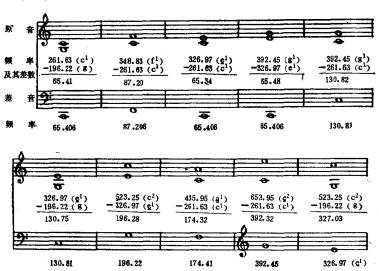
§ 187. 音乐理论中自然科学研究的成熟,还有"合成音" (resultant tone)的发现。当两个不同高度的音用强音量同时发音时,我们能听到该两音的频率差数的音和频率合数的音。频率差数的音叫做"差音" (differential tone),频率合数的音叫做"合音" (summational tone)。合成音是差音和合音的总称。

先用实例说明差音。下例第一小节, c¹和 g 两音同时 发音

时,能听到该两音的频率差数的音 C 音。又倒数第二小节,c¹和 e²两音同时发音时,能听到该两音的频率差数的音 g¹ 音。 差 音 通常是低音,即比两个原音为低[下列第一小节至第八小节]; 但 是也有介于两个原音之间的[下例最后两小节]。

下例高音谱下面的数字,表示两音的频率及其差数;低音谱下面的数字是谱上所记的音的实际频率。上面一行的频率差数与下面一行的实际频率,不是完全符合的,但所差甚微。例如第四小节,e<sup>1</sup>一g<sup>1</sup>的频率差数是65.48,而低音C音的实际频率是65.406。例中各音频率都按纯律计算。

第92例



差音于1714年为意大利的中提琴家兼作曲家 塔·蒂 尼 (Giuseppe Tartini, 1692—1770) 所发现。差音较弱,要注意听辩,才能听到。尽管如此,差音对小提琴上演奏"双音"的技术,还是有一定的帮助。一直有人强调差音的作用,认为它是小提琴演

奏上校正三度和六度双音的有效方法。

§ 188. 合音与差音相反, 当两个不同高度的音用强音量 发音时, 我们稍能听到该两音的频率合数的音。例如上 例 第 一 小节, C¹(频率为261.63) 和 8 (频率为196.22) 两音同时发音时, 能听到该两音的频率合数 (457.85)的音¹゚b¹ (倍音列中第七倍音, 这个第七倍音频率为457.89)。

261,63(c¹音的频率)+196,22(g 音的频率)=457,85 合音为赫尔姆霍兹[§186]所发现。合音极弱,不易听出。

近代音乐理论中自然科学方面的研究,其积极成果,应予肯定。但是也有部分音乐理论家,企图单凭自然科学的自然法则法探讨音乐艺术中的一切法则,结果把近代欧洲音乐中某些表现手段的法则(例如和声中和弦进行的法则),都归结为"永恒"的"自然法则"。这显然是片面的观点[参看第一章,§16]。

§ 189. 自从十二平均律流行以来,纯律和五度相生律并没有消逝。因为五度相生律一直为小提琴一类弦乐器所采用,而纯律则是多声部音乐的自然要求——要求和弦发音和谐。这样就形成十二平均律对纯律和五度相生律相矛盾的局面,特别是十二平均律与纯律差距较大[§104、§106]。为了解决这个问题,有很多人继续提出各种律数的平均律[参看§180]。

例如, 匈牙利数学家兼钢琴家杨科(Paul von Janko, 1856—1919)提出"四十一平均律"。每律计29.27音分。大全音用七律, 计204.89音分。小全音用六律, 计175.62音分。大半音用四律, 计117.08音分。

又如,索菲尔[§186]提出"四十三平均律"。每律计27.91音分。大全音用七律,计195.37音分。小全音用六律,计167.46音

分。半音用四律, 计111.64音分。

英国物理学家博赞克特 (R.H.M. Bosanquet)于 1876 年提出 "五十三平均律"。每律计22.64音分。大全音用九 律。大 半音用五律,计113.20音分。

博赞克特的五十三平均律,与麦卡托的五十三平均律,在律制上是一样的〔参看§180〕。博赞克特主张在纯律大音阶中把七倍音用作属七和弦的七音〔看§79〕。他称这个七音为"和声七度"。他认为属七和弦用这个和声七度,声音才能和谐。

上列各种律制的倡导者,常同时设计带有特殊键盘的实验性的乐器。例如,博赞克特曾根据五十三律,制成一架"微音差风琴"(enharmonic harmonium),这架风琴有四组半,每组十二个键,但是键盘共有七排,所以每组内即有八十四个键。

§ 190. 纯律的律数,随着调的增加而无限地扩张[§97]。日本物理学家兼音乐理论家田中正平(Tanaka shōhei, 1862—1945)于1890年在德国发表"五十三纯律"。这种纯律利用两种极小的音差的变换,把律数加以限制,解决了纯律律数无限扩张的问题。

(1) 第一种变换叫做"斯基斯马变换"。"斯基斯马" (schisma) 就是相距八个纯五度又一个大三度的两音之差〔参看 第30例, 纯律音系网〕, 例如:

第 93 例

§ 190

产生公式和频率比[参看§87]是:

$$\frac{\left(\frac{3}{2}\right)^8 \times \frac{5}{4}}{2^5} = \frac{32805}{32768}$$

音分值计1.953音分(即2音分)

即 e 音比 f 音高一个斯基斯马, \*c 音比 d 音高一个斯基斯马。这个斯基斯马只有最大音差 (24音分) 的十二分之一。斯基斯马如此之小,不易为人耳所察觉,因此凡遇相差一个斯基斯马的两音,都可以互相变换;这就是"斯基斯马变换"。在第95例,中央棱形内,上方第一行(低三音差列[参看第30例,纯律音系网]) 右端 f 音,倘再向右加五度 (\*c 音),就可以换为 d 音。 \*c 音一d 音相差一个斯基斯马[看第93例(2)],即 \*c 音比 d 音高一个斯基斯马,所以 c 音换为 d 音时,这 d 音高一个斯基斯马;这时用+s 为记。第二行(低二音差列) 左端d 音,倘再向左加五度(g 音),就可以换为 \*f 音。 \*f 音比 g 音高一个斯基斯马[看第93例(3)],所以 g 音换为 \*f 音时,这 \*f 音低一个斯基斯马;用-s 为记。其余各音列,均同此。

早在1726年时,拉莫[§185]曾发现这个音差,他称它为"小微音差"(semicomma minime)。这个音差实际就是最大音差减去普通音差所余下的差数:

$$\frac{531441}{524288} \div \frac{81}{80} = \frac{32805}{32768}$$

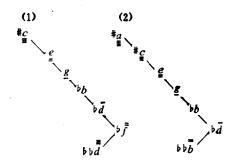
按音分值计算, 即:

24音分(最大音差)-22音分(普通音差)=2音分

又,赫尔姆霍茨〔§186〕有一条定理说:"在五度音列上,相隔 八个五度级的两音,与纯律大三度几乎完全相同"。这就 是 说, 在第93例(1),从 $\bar{c}$  音到 $^{\flat}f$  音,与从 $\bar{c}$  音到  $^{\varrho}$  音(这是纯律三度),几乎完全相同。这个"几乎完全相同",即指相差一个小微音差(斯基斯马)。

(2) 第二种变换叫做"克来斯马变换"。"克来斯马" (kleismi) 是相距一个大三度又五个小三度的两音之差〔参看第30例,纯律音系网〕,例如:

第94例



产生公式和频率比是:

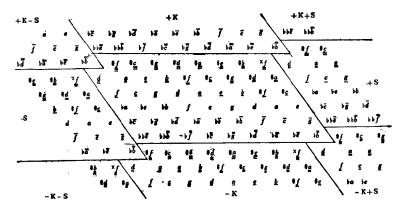
音分值计8.371音分(即8音分)

即  ${}^{\prime}c$  音比  ${}^{\flat}$   ${}^{\dagger}$  音高一个克来斯马,  ${}^{\prime}a$  比  ${}^{\flat}$   ${}^{\dagger}$  高一个克来斯马。这个克来斯马只有最大音差(24音分)的三分之一。拉莫也曾发现这个音差,他称 它 为 "大微音差" (semicomma majeur)。凡遇相差一个克来斯马的两音,都可以互相变换,这就是"克来斯马变换"。在第95例中央棱形内,最下一行(高二音差列)左方第二律  ${}^{\flat}$   ${}^{\dagger}$  6 音。  ${}^{\prime}$  (高一个克来斯马〔看第94例(1)],所以

》  $^{b}d$  音换为  $^{c}c$  音时,这  $^{c}c$  音低一个克来斯马,用-K 为记。第95 例中央棱形内最上一行(低三音差列)左方 第 二律  $^{c}c$  音,倘向左上加小三度  $^{c}d$  ,就可以换为  $^{b}b$  。  $^{c}d$  比  $^{b}b$  音高一个 克来斯马[看第94例(2)],所以  $^{c}d$  换为  $^{b}b$  音时,这  $^{b}b$  音高一个克来斯马,用+K为记。

还有中央棱形的四个角上,同时用斯基斯马变换和克来斯马变换,例如 + K - S、+ K + S ······,其理亦同。只是 + K + S 或 - K - S 的双重变换,差数最大,约如最大音差的 $\frac{1}{12}$  +  $\frac{1}{8}$  =  $\frac{1}{12}$ )。以 c 音为中心,构成五十三纯律,如下例。

#### 第 95 例



§ 191. 对于纯律中的七和弦和九和弦等,田中正平提出以下的意见。他主张在纯律中用自然七度 [\$79] 来构成大小调中的属七和弦。他认为,例如在 C 大(c小)调中构成属七和弦  $g-\underline{b}-d-f$  时,如果在属和弦中混入下属和弦的音(f),将引起强显的不协和性,所以这个七音(f)须用自然七度。为了避免在五十三纯律之外再增加律数,他提出用  $\frac{1}{e}$  音来代替 f 音,作为 g 音的自

然七度。即  $\frac{1}{2}$  音作为 g 音的自然七度的代用音。 $\frac{1}{2}$  音和 g 音在纯律音系网中的位置,如下例:

第96例



这个 'e 音在 g 音上方, 从 g 音出发至 'e 音, 频率比为 등 。 计976 音分。自然七度是969 音分。即 'e 音比自然七度高 7 音 分。

关于减七和弦的构成。在和声小音阶第七音上构成的减七和弦, 在纯律上产生强烈的不**协和效果。构成减七和弦的各音,根**据所在调而异。例如:

#### 第 97 例

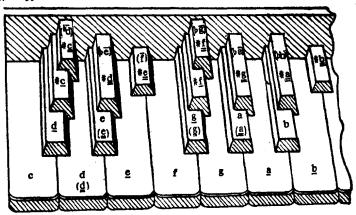
c小调 
$$\underline{b}$$
 —  $d$  —  $f$  —  $b\overline{a}$  a小调  $\underline{b}$  —  $\underline{d}$  —  $f$  —  $\sharp g$   $\underline{b}$  bē小调  $b\overline{c}$  —  $d$  —  $\overline{f}$  —  $b\overline{a}$ 

关于九和弦的构成,可以用九倍音,作为自然九度。例如**』** 第98例

\$ 192. 田中正平曾根据五十三纯律的原理,制成一架风琴,名为"微音差风琴"(enharmonium)。这风琴的键盘,除了 普·184·

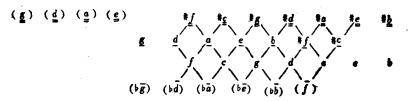
通七个白键和五个黑键外,又加四个小白键和五个小黑键(共二十一个键),再用杠杆装置,由膝部操纵,产生另外十律(下图中有括弧为记)。以上共三十一律。此外,把全部键盘向左右移动,可以使所有的音全部升高或降低半音、全音等。键盘图如下。

### 第99例



这个键盘包含如下的三十一律,带括弧的律,是由杠杆操纵 而产生的律。

#### 第 100 例



上举各种律数繁多的律制,无论在乐器制造方面或演奏实践 方面(即使应用机械辅助),都会发生困难,但可以在律学上作 为科学实验之用。 § 193. 本世纪初期,出现一种"微音派"的音乐流派,主张把十二平均律全音细分为若干"微音"(microtone),直接用来进行创作。这个流派中著名的人,有意大利的布左尼(Ferruccio Benvenuto Busoni,1866—1924),他提出把全音分为三个音、五个音和六个音(分别称为"三分音"、"五分音"和"六分音")。此外还有好些人,例如墨西哥的卡里罗(Julian Carrillo,1875—1965),他提出把全音分为四个音、八个音和十六个音(分别称为"四分音"、"八分音"和"十六分音")。这个流派的创作倾向,常否定大小调体系和民族调式的存在,而与"无调音乐"(atonality)等相联系。

应当注意的是,为解决大小音阶和民族调式而用 微 音 密 律 (包括纯律和律数繁多的各种平均律)[§180、§189、§190]与微音 派直接用微音进行创作和演出,是有根本性的区别的。

# 第八章 四分之三音体系史料

## 阿拉伯民族乐制

§ 194. 四分之三音体系亦称阿拉伯音阶 体 系。这种体系是阿拉伯民族音乐的主要特征,所以必然通行于亚非地区以阿拉伯民族为主的国家(例如西亚的伊拉克、叙利亚、黎巴 嫩 和 约 旦等,北非的埃及、突尼斯、阿尔及利亚和摩洛哥等),同时也流行于混居着阿拉伯民族的国家(例如伊朗和土耳其等),而其影响则及于其它地区。

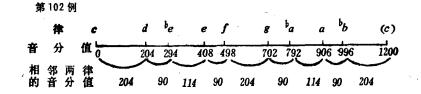
公元前两千年,阿拉伯人居住在阿拉伯半岛上。公元七世纪时,有很大部分阿拉伯人移居叙利亚、美索不达 米 亚、伊 朗 南部、埃及和其它北非地区。他们在这些地区传播阿拉伯文化,同时吸收当地的文化。古代阿拉伯人有高度发达的文化,用古代阿拉伯语写成的哲学、数学和文学的文献、极为丰富。

§ 195. 古代阿拉伯的律学极其发达。阿拉伯人有 一种"测音学" (messel theory), 专事测量音律。他们不仅知道八度、纯五度和纯四度的协和,而且知道处理四分之三音。根据测音学,要想产生纯四度,就把一弦舍其士,取其者。看第一章第 2 例,以 C<sub>1</sub> 音为基础,弦的 <del>3</del> ,发生 8 音(三倍音),弦的 <del>4</del> ,发 c <sup>1</sup> 音(四倍音); 所以 c <sup>1</sup> 音的弦长,就是 8 音的弦长的 <sup>3</sup> 。以 8 音为

基础, 8 音的弦长的 <sup>3</sup>4, 发生纯四度的 c'音。阿拉伯人就用这个纯四度, 作为生律的基础, 即四度依次相生, 而成各律, 一如五度相生法[参看第三章, §51; 第六章, §119]。他们用这种"四度相生法", 最初产生九律。用今日音名来表记, 如下例。

第 101 例 セ ----- a ----- d ----- g ------ f ----- b b ----- b e ----- b a

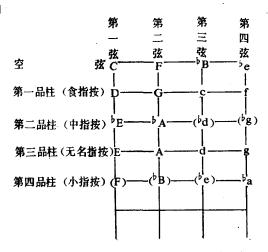
把上例中各音照高低次序排列起来,如下例:



她四度是纯五度的转位,所以四度相生法实质上无异于五度相生法。上例从相邻两律间的音分值看来,与五度相生律完全相同[参看第三章,第22例]。但是四度音列[第101例] 所含之音与五度音列所含之音,在一定范围内,是不相同的。就是说,从同一音(例如 c 音)出发,四度相生法所生之律,与五度相生法所生之律,在一定范围内是不相同的。

§ 196. 古代阿拉伯有一种琵琶式的拨弦乐器, 称为"乌德" (ud), 其各弦也用纯四度定音, 凭品柱产生其它各音。各弦所发之音和手指按品柱所发之音的高度, 如下面第103例所示。

从该例可知,乌德上能弹出第102例所列的九律而 有 余。第 三、四弦上多弹出 d和 g两音。又第一弦小指按品柱所发之音, 就是第二弦的空弦之音。第二弦的 B音,也是这样。

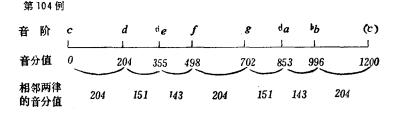


§ 197. 古代阿拉伯人出于民族音律的听觉习惯,对于上举在乌德上用中指弹出的 \*E 和 \*A 两音,觉得太低;于是就把中指所按之处的品柱(第二品柱),移到第一品柱(食指按)和第三品柱(无名指按)的正中,即把第二品柱稍移高;这样就使 \*E 音 由原来的294音分提高到303音分(升高9音分),使 \*A 音由原来的792音分提高到801音分(也是升高9音分)。 \*E 和 \*A 两音的提高,是由乌德上移动中指所按之处的品柱所造成,因此,对乌德上产生原来稍低的 \*E 和 \*A 两音的音位,称为 "古代中指",而对调整过的稍高的 \*E和 \*A 两音的音位,称为 "波斯①中指"。

§ 198. 古代阿拉伯人对波斯中指所产生的 B 和 A 两音,还是觉得太低,要求再升高一点。八世纪时,阿拉伯的一位乌德名手萨尔萨尔 (Zalzal,公元791年卒)有鉴于此,就把原来九律中 be 和 e 音一齐删去,代之以介于该两音之间的"中立音程"(neutral interval)的 be 音(d表示降低半音之半),即表示降低"四分

① 波斯,今伊朗。

音"(quarter tone),同时把 'a 和 a 也一齐删去,代之以中 立 的 'a 音。这两个中立音程;分别称为"中立三度"(neutral third) (与主音 c 音的频率比是 $\frac{27}{22}$ ,计 355 音分) 和 "中立六度" (neutral sixth) (与主音的频率比是 $\frac{18}{12}$ ,计 853音分)。由于这种中立 音程的介入,就构成这样的七声音阶。



这种音阶的特点,是具有 d一'e、'e-f 等特殊音程。d一'e 的音程值是151音分(频率比計), 'e-f 的音程值是143音分(频率比計), 'e-f 的音程值是143音分(频率比影影量), 它们约等于全音(204音分)的四分之三,所以称为"四分之三音"。g一'a、'a-b 之间,也是这种四分之三音。依据四分之三音,还可以派生出"四分音"(即半音之半,音程值约为50音分)和"四分之五音"(即全音加四分音)之类音程。这一类特殊音程(包括四分之三音、四分之五音和四分音等),直至今日,仍为阿拉伯国家和混居着阿拉伯民族的国家的民族音乐的共同特征。

§ 199. 关于中立音程的起源问题。可以认为,中立音程发生于某些倍音,至少与倍音有关。固然我们不必勉强把各种民族律制中所有的音都归因于倍音,但是,如果发现中立音程确实与倍音有关,就应当归因于倍音。律制中对倍音的应用,既有调整问题,又有选择问题〔参看第一章,§16〕。就四分之三音的音程本身来说,可以认为是十一倍与十二倍音的距离,例如上项所述的d—de 音程,频率比为 一点 1000 。 1000 , 10

中立六度 (853音分) 就其在音阶中的位置来说,可以认为与十三倍音(841音分)有一定的关系,就其频率比异看来,又可视 为十一倍音与十八倍音的距离。

§ 200. 九世纪时,波斯的哲学家兼音乐理论家阿尔·法拉比(A1-Fārābī,公元870—950)曾写了有名的著作《音乐全书》。他联系着乌德,记述当时的律制情况,指出在乌德的各种指位(品柱)中,只有几个指位符合古代的弦长的划分法(即四度相生法),而中指的指位却有好多种,既有波斯中指,又有萨尔萨尔中指(即根据中立音程的中指指位)。别的指位之间,也有增加其它指位的趋势。因此就使律数增加到十七律。不过当时在这种十七律中,对于各律不是一视同仁,而是有所区别的,认为凭四度相生法而获得的律是正律,根据中立音程等的律则是变律。这种十七律,可能就是后来的全部根据四度相生法的十七律[见下项]的雏形。

§ 201. 到了十三世纪,波斯的哲学家、音乐理论家萨菲·阿尔定 (Safi al- Din, 公元1230—1294年) 写了对后世有影响的音乐论著《论调式》、《论和弦》等书。他确立了根据四度相生法的十七律制。即把以前的根据四度相生法的九律[§195]再往下生八次,共得十七律。他企图用这种律制解决阿拉伯民族 律制的问题。尽管没有达到相应的目的,但这种十七律制,在十八世纪以《前盛行于阿拉伯国家。

十七律的相生法如下例:

第105例

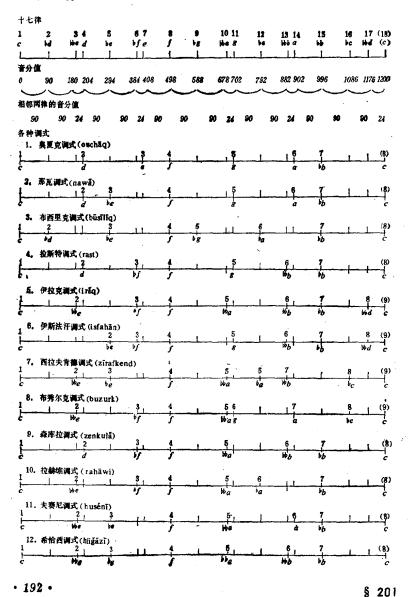
四度音列

$$e-a-d-g-c-f-bb-be-ba-bd-bg-bc-bf-bb-bb-bbe-bba-bbd$$

现在把各律照高低次序排列起来,并与当时被纳入这种乐制

### 体系的阿拉伯调式(共十二种)相配合,列表如下。

第106例



§ 202. 十九世纪中叶,阿拉伯人民反抗奥斯曼帝国的统治;随着政治上并发出民族独立斗争,文化方面展开一场复兴阿拉伯民族文化和民族艺术的运动。

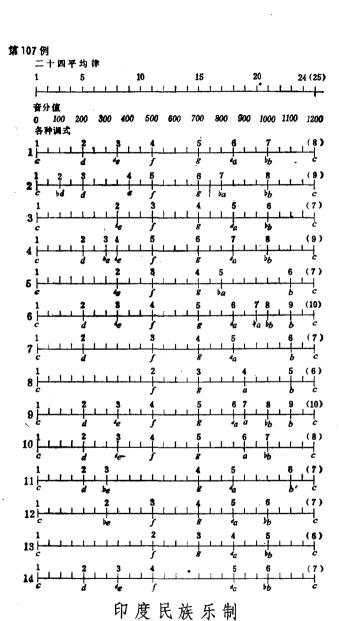
萨菲·阿尔定的十七律制,严格说来,不完全符合阿拉伯民族的中立音程,不能满足阿拉伯人的听觉习惯。上例中 'f 和 'b 两音,对中立音程来说,都失之过高。中立三度是 355 音 分,而 'f 是384音分,中立六度是853音分,而 'b 是882音分。

直到十九世纪末,梅夏卡 (Michael Meschāqa) 采用二十四平均律,才进一步解决阿拉伯民族律制问题。梅夏卡是阿拉伯人,音乐家兼数学家。他于1888年用二十四平均律解决阿拉伯律制中的中立音程、四分之三音和四分音等问题。二十四平均律,等于把十二平均律的各律都分为两律,各律的音程值都是 50 音分。中立三度(音程值355音分),在二十四平均律由七律构成(350音分);中立六度(853音分)由十七律构成(850音分);四分之三音d—de(151音分)和de—f(143音分)都由三律构成(150音分)。

近代阿拉伯人通用的基本调式,有十四种。现在把二十四平均律与阿拉伯十四种基本调式相对照,列表如下( 表示降低四分音, +表示升高四分音)。表中第一种调式是最主要的调式,也就是萨尔萨尔根据九律换人中立音程而成的调式[第104例]。

这些调式中,不仅有四分之三音,而且有四分音(如第四 种调式中  $^{\dagger}e-^{\dagger}e$ )和四分之五音(即全音加四分音,如第六 种调式中  $g-^{\dagger}a$ ,第十一种调式中  $^{\dagger}a-b$ )等。

综上所说,阿拉伯民族乐制的发展过程,可以说是解决四度 相生律与四分之三音的矛盾的过程。



§ 203. 古代印度有着高度发达的文化。音乐在古代印度的

· 194 ·

艺术文化中占着重要的地位。早在公元前约二世纪间(一说公元前四、五世纪间),即有文艺理论家婆罗多(Bhārata)在所著《乐舞论》的诗体论文中,阐述了二十二律和音阶的关系以及其它音乐方面的理论。婆罗多的音乐理论,后代一直认为是标准的论著。

如果把一个八度分为二十二律,则各律的平均音分值(即相邻两律间的平均音分值)应为54.5音分。印度的二十二律,其各律以不同程度接近54.5 音分〔详见后面第110例和第112例〕。音乐理论家常把稍不平均的各律,略予增减,得出"平均化"的律制,因此,在理论上就出现印度的二十二平均律。固然,在印度的某些地区的乐器,二十二律中各相邻两律间的音程,有的差距极大,从22音分、66音分以至90音分(还可以有更多的音分)不等,但这只是个别的现象。

§ 204. 古代印度的音阶(印度称音阶为"格拉玛" [grāma]) 基本上由七个音(印度称这种音为"斯伐拉" [svara]) 构成,各音的名称如下。

音的名称	意译	简写	译音
sadja	具六	sa	萨
rsabha	神仙调	ri	利
gandhāra	持地调	ga	格
madhya <b>m</b> a	中令	ma	玛
pañcama	等五	pa	帕
dhaivata	明意	dha	达
nsāda	近闻	ni	尼

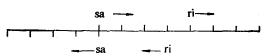
古代印度音乐理论常把上列七个音与日月星辰、季节气候、 禽兽鸣声、人的不同年令以及各种颜色等相比拟,例如把七个音

依次比作月亮、水星、金星、太阳、火星、木星、土星,或比作 孔雀、牡牛、山羊、苍鹭、杜鹃、马、象的鸣声[参看第六章§118, 管仲在《地员篇》中所说],等等。

婆罗多根据印度重要的民族乐器"维那"(vina)(一种拨弦乐器)的调弦法和品柱的音位,认为印度音阶由二十二个最小的音单位构成。这种音单位,称为"斯鲁蒂"(sruti,义为"听到",即"能听到的最小的音"),也就是律。婆罗多提出了纯五度协和与纯四度协和的理论,他认为纯四度由十个斯鲁蒂构成,即相隔九律;纯五度由十四个斯鲁蒂构成,即相隔十三律。这是婆罗多对音阶构成的基本论点。由此出发,用二十二斯鲁蒂构成音阶中的各音。

有一点须注意,用几个斯鲁蒂构成音阶中某音(或音程)时,有旧说和新说两种。旧说由一音向高音方面计算斯鲁蒂,新说由一音向低音方面计算斯鲁蒂。例如说,sa 音由四个斯鲁蒂构成 ri 音由三个斯鲁蒂构成,照旧说,如下例上方所示,照新说,则如下方所示。

第108例

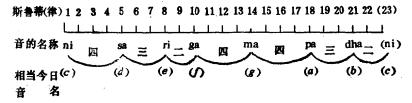


上例就音程来看,照旧说, sa一ri之间相隔四个斯鲁蒂(上例上方),照新说, sa一ri之间相隔三个斯鲁蒂(上例下方)。其余各音类此。这种分歧势必改变音阶的构造。今日的律学研究者都照新说计算斯鲁蒂,只因有时掺入旧说,以致造成混乱。

下例明示二十二个斯鲁蒂与音阶中七个音相配合的情况。例中数字四、三、二,既表示构成一音的斯鲁蒂的数目,同时表示两音之间所包含的斯鲁蒂的数目。例如 sa 左方的 "四"字,既表示

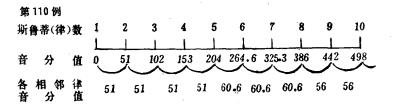
sa 音由四个斯鲁蒂构成(向低方),同时表示 ni—sa 之间包含着四个斯鲁蒂。

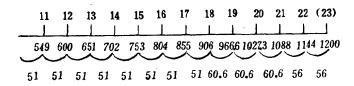
第 109 例



上面一列七个音,相当于大音阶,而且有点象纯律大音阶; 全音有的由四个斯鲁蒂构成(大全音),有的由三个斯鲁蒂构成 (小全音)[试与第四章,第24例比较]。但是实际并不如此。大部 分由三个斯鲁蒂构成的"全音",具有四分之三音的性质(约为150 音分)[看下例]。此外,在演奏实践上,由于演奏(唱)者常把音 阶中某些音随意升高或降低一个或数个斯鲁蒂,这么一来,就产 生四分之三音之类音程[§198]。

§ 205. 根据上例,把古代印度的民族律制用音分值计算出来,如下例:



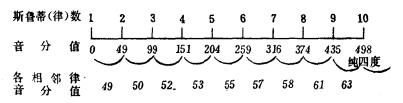


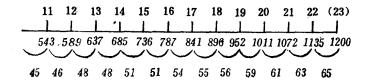
§ 206. 上述的二十二律制,根据音程加以划分而成;属于旧的定律法。二十二律的定律法,还有一种新的定律法。新的定律法,根据弦长加以划分而成。即把一条弦(见下例中 A—A'),先等分为两段(A—B、B—A'),再把 A—B —段又等分为两段(A—C、C—B),最后把 A—C —段等分为九个斯鲁蒂,把 C—B——段等分为十三个斯鲁蒂,合成二十二个斯鲁蒂(即二十二个律)。左手按在弦上划分的各律之处,右手弹弦(这时弦长自按律处起到A'端止),便发出各律的音。如下例:



根据这种定律法,各律的音分值如下例。





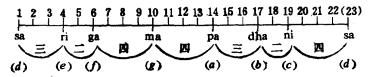


看第110例和第112例,两例中各律的音分值,有相类似之处,即各律大多在54.5音分上下,或多少接近54.5音分。

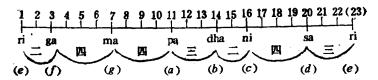
§ 207. 根据婆罗多的理论,古代印度有两种基本的音阶,一种称为"萨音阶"(sadja-grāma, 简作 sa- grāma) [下例(1)],另一种称为"玛音阶"(madhyama- grāma,简作 ma- grāma) [下例(6)]。两种音阶都可以用音阶中某些音为主音,构成其它的调式。萨音阶可以分别用 sa、ri、dha、ni 为主音,构成四种调式(印度称调式为"查蒂"[jati]),为"萨音阶系"[下例(1)一(4)],玛音阶可以分别用 ga、ma、pa 为主音,构成三种调式,为"玛音阶系"[下例(5)一(7)]。注意,在玛音阶系,pa 音比在萨音阶系低一个斯罗蒂。

#### 第113例

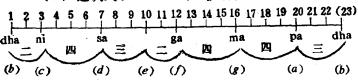
## (1) 萨音阶,即萨调式(ṣaḍjī)



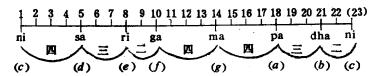
### (2) 利调式(a.rsabhī),以萨音阶的ri为主音



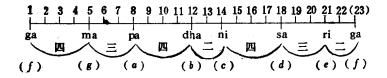
「(3) 达调式(dhaivatī),以萨音阶的dha为主音



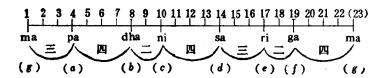
### (4) 尼调式(nisadī),以萨音阶的ni为主音



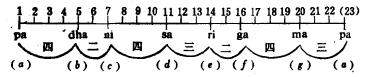
### (5) 格调式(gāndharī),以玛音阶的ga为主音



### (6) 玛音阶, 即玛调式(madhyamā)



### (7) 般调式(pañeamī),以玛音阶的pa为主音



§ 208. 1904年,南印度普都可台州库几米亚马来(Kudimiyāmalai)发现了"七调碑"。从该碑的碑文书体来判断,"认为是七世纪时的遗物。碑文中所列的七调和九声相配合的情况,与婆罗多关于音阶、调式的理论,基本上相符合,有出人的是,碑文所列九声,只明示全音和半音,没有区分全音有较大(四个斯鲁蒂)和较小(三个斯鲁蒂)的二种。

碑文九声中除七声之外,还有 ka、a 二声,这二声是为调式变化和移调(原调式移高或移低)时而用的。

碑文九声中的 ra 即 ri, na 即 ni。

碑文所列的音阶、调式,主音不一定放在第一音的位置,大多在别的处所。现在特把音名加方框,表示主音。例如玛音阶,以中间的 mai 为主音。

碑文所列的七调中,基本音阶萨音阶和玛音阶都出现了两次。即萨音阶之外,又出现调式本质与萨音阶相同的般赠调式, 玛音阶之外,又出现调式本质与玛音阶相同的鸡识调式。娑陁力调式和鸡识-玛调式,则完全相同。相同音阶、调式的重复列入, 是否由于两个音阶(调式)的绝对高度有所不同,不得而知。

碑文所列的七调和九声如下。

第114例

碑文七调	译名	碑文九声						
		sa	ra g	a a ma	pa	dha r	a ka	
1.madhyama—grama	玛音阶	sa L	ri 8	a ma	Pa	dha 1	ni L.L.	
2.șadja—grāma	萨音阶	sa l	ri g	a ma	pa ′	dha 1	ij	
3.sādhava	沙腊式	ma	pa	dha ni	sa	ri 8	a 1 l	
4.sādhārita	娑陁力 调 式	ni 	sa.	ri <b>ga</b>	ma	pa	dha	
5.pañcama	般贈	ma	pa ! !	dha ni	<u>sa</u>	ri	ga	
6.kaiśika-madhyama	鸡识— 玛调式	ni	. sa	ri [ga]	ma	ра	dha	
7.kaiśika	鸡识	ni	sa	ri ga	ma	pa	dha	
		七个调式内的各音						

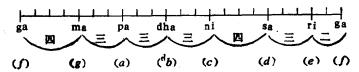
调式译名方面,沙腊、娑陁力、般赡和鸡识,都袭用苏祗婆琵琶调式理论中的旧译,因为苏祗婆调式与印度调式有联系 [第六章, §149]。

上例中萨音阶,照所参考的资料,主音为 ma, 似有误,现 在改为 sa。

§ 209. 到了十三世纪,克什米尔人音乐理论家娑楞伽提婆(Sārngadēva. 公元 1210—1247年)提出了一种新的音阶。娑楞伽提婆曾在宫廷中任职,著有《乐海》一书,阐述调式、曲式等理论。该书是婆罗多的《乐舞论》以后印度最重要的音乐论著。他所提出的新的音阶,是"格音阶"(gandhāra-grāma)。这种音阶的特点是,连续用三个斯鲁蒂的音〔下例中 ma—pa—dha]。这样就增加了四分之三音的特征。如下例:

### 第115例

### 格音阶



这个音阶,是在律制上把玛音阶的 dha降低一个斯鲁蒂而成。 古代印度音乐中,除了上述的各种七声音阶、调式之外,尚 有五声和六声的音阶、调式。

# 第九章 亚非地区几种民族乐制

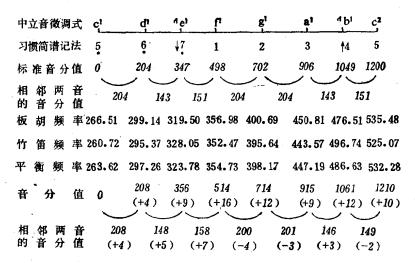
§ 210. 前面三章(第六、七、八章)中,在阐述各国历代乐制时,曾涉及一些民族或地区遗留至今的乐制。本章要讲的,是近期律学研究者和民族音乐研究者所发现的亚非地区的一些民族乐制,这种乐制有悠久的传统,不过在近期才被人提出罢了。这种乐制大多与四分之三音体系有关系,有的就属于四分之三音体系。

## 中国等地的中立音程

§ 211. 我国一些戏曲音乐和民间器乐曲常用一种带中 立音的调式。例如,在五声徵调式的高低两方的小三度中间,各加入一个中立音(或中立音程),构成中立音徵调式。看下例,在五声徵调式的低方小三度(d¹-f¹)中间,加入中立音 'e¹,又在高方小三度(a¹-c²)中间,加入中立音 'b¹。前者称为 "中立三度",后者称为"中立七度"。按照标准音分值,中立三度 'e¹音与主音 c¹音的频率比是 'o¹,计 347 音分。这个中立三度比阿拉伯音乐中的中立三度(355 音分)稍低,但在实质上两者是相同的。中立七度 'b¹ 音与主音的频率比是 'o¹,计1049 音分。要特别注意的是,两个中立音( o²e¹-o²b¹) 构成了纯五度的音程(1049-347=702)。其余各音都照五度相生律计算音分。

中立音徵调式是我国戏曲秦腔苦音(即哭音)音乐和晋剧(山西中路梆子)音乐所常用的调式。根据姜夔同志对秦腔《游西湖》一剧中《幽会》一场的插曲①的测音,进行计算,证明该曲所用的各音,符合于中立音徵调式中各音的高度(尽管微有差异)。看下例的中立音徵调式(七声)。

#### 第 116 例



上例对频率的计算,是把两种乐器分别测得的频率加以平衡,得出平衡频率〔参看§225〕。音分值下面括号内的数字,表示与标准音分值的差数。

这种调式实际已进入四分之三音体系的范围,因为它与萨尔萨尔制定的阿拉伯音阶〔§198,第104例〕十分相似,只在高方中立音的位置有所不同罢了。所以,这种调式可以视为五声体系和

§ 211

¥

① 根据陕西省戏曲剧院提供的磁带录音,由板胡和竹笛分别奏出《游西湖》中的 同一曲调。

四分之三音体系的结合。

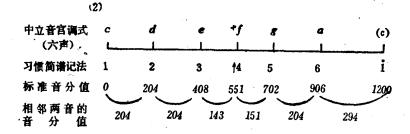
这种调式曾出现在克什米尔的器乐曲上。又,这种调式在埃及被视为主要调式之一,称为"拉斯特调式"(rast)。

§ 212. 中立音也可以只出现在五声徵调式的高方的小三度之间,构成六声的中立音徵调式。根据姜夔同志对我国东北地区的民间乐曲 《江河水》第二段的测音,得出结果如下例(1)。从测算的音分值看来,虽则音的高度不甚准确,但仍能证明中立音(中立七度)的存在。

如果把这个六声的中立音徵调式的四度音( $c^2$ )作为主音,就构成中立音宫调式,如下例(2)。

#### 第117例

(1) 中立音微调式 g1 c2 ď² ff2 g2 (六声) 习惯简谱记法 5 ı 2 14 率 395.41 529.03 589.71 440 658.11 723.50 796.11 185 值 504 692 882 1046 1199 185 319 188 190 164 153 值



上例(2)中五声调式的音分值,按照五度相生律计算。

中立音官调式中的中立音 ( $^{+}f$ ) 称为 "中立四度"。这个中 立四度可以认为是倍音列中的十一倍音。所 以标准音分值定为 551 音分,它与主音的频率比是 $\frac{1}{6}$ 。

在德国民间音乐中有用十一倍音的,称为"阿尔卑斯号 fa音" (alphorn fa),这个音就是中立四度。

# 印度尼西亚甘美兰乐队的五、九、十平均律制

§ 213. 在东南亚地区的民族律制中,有多种多样的平均律制,例如五平均律、七平均律和九平均律等。这种平均律与钢琴之类乐器所用的十二平均律有所不同。钢琴等所用的十二平均律是定音准确的律制,而民族乐制中的平均律,则是对民族音乐或民族乐器测音所得的音分值略予增减,加以"平均化"而成,或对可以合奏的数件乐器分别测音所得的频率加以"平衡"而成的律制[详见后文 §215、§225]。

在民族乐制的研究工作中,由于据以测音的乐器有地区性差异或质量上的殊异,或由于演奏者在技术上不够精炼,不能随心应手地达到演奏者的要求,常使测音工作产生不同的结果,再加上测音者对测音结果加以平均化或平衡时常有偏高偏低的不同作法,这样就会在民族乐制研究者之间,对某一民族乐制产生不同的意见,引起理论上的争议[详见 §223]。

§ 214. 东南亚地区广为人知的乐制,首推流行于印度 尼西亚爪哇的"甘美兰"(gamělan) 乐队所用的乐制。甘美兰乐队 主

要由多种打击乐器(以木材、竹材和金属的制品为发音体)组成。这种乐队有特殊的乐制,分别为"甘美兰·斯连德罗"(或称"甘美兰·萨连德罗")(gamělan slendro[或 gamělan salendro])和"甘美兰·培罗格"(gamělan pélog)两大类。两类乐队的乐制互不相同,不能合奏。

\$ 215. 甘美兰・斯连德罗(简称斯连德罗)的乐制内,又有好几种,现在择要讲述两种。

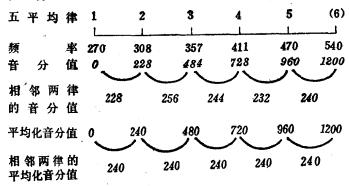
第一种——也就是最主要的一种——是西爪哇的所称"定形斯连德罗"的五平均律。一般所称的斯连德罗的乐制,就是指这种五平均律。五平均律既是律制,同时又是乐制,因为它既是五平均律,又是平均五声音阶。五十年代来我国访问演出的爪哇甘美兰乐队,就有这种斯连德罗乐制的乐队。

,现在把埃利斯<sup>①</sup> 对这种斯连德罗乐队的乐器所作的测音和计算引用如下。频率一栏是乐器测音的记录。音分值一栏从频率演算而得。从相邻两律的音分值一栏看来,各律相距不是完全一致的(五平均律的各相邻两律的相距,应当都是240音分)。律 学研究者把各律的音分值略予增减,得出"平均化"音分值。第6律是八度,加括号为记。

§ 215

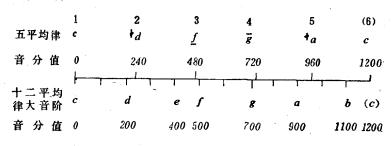
① 根据埃利斯[§42]所著《各民族的音阶》。(On the Musical Scales of Various Nations)(1929年)。埃利斯的对各民族乐制、律制的测算结果,尽管尚有争议,但迄今为止毕竟是广被引用的。





§ 216. 现在把平均化后的五平均律(即平均五声音阶)与十二平均律大音阶相比较如下。五平均律的音名借用现代通用的音名,除加用半升号(+)、半降号(+)之外,并用纯律上的符号为记,以上方横线(如a)表示升高一个普通音差(22音分),以下方横线(如a)表示降低一个普通音差[第四章,§70]。这些带有各种记号的音名,只表示大体的高度。

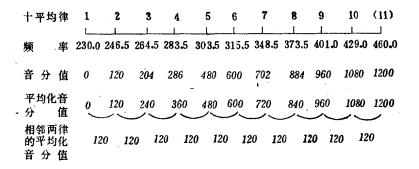
第119例



§ 217. 第二种斯连德罗乐制,也是五声音阶,但是不合于 五平均律,而合于十平均律。这种斯连德罗乐制,经日本的树源次郎 (Masumoto Jiro) 和爪哇的苛斯马蒂那塔(Kesmadinatha)

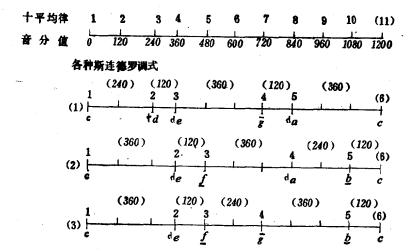
## 二人共同测算①,得出以下的结果。

#### 第120例



§ 218. 把平均化后的十平均律和第二种斯连德罗调式(即非平均五声音阶)相配合如下。这种斯连德罗调式也有多种,各种互有联系。括号内数字表示调式中相邻两音的音分值。

### 第121例



① 根据日本田边尚雄[\$46]所著《音乐音响学》, 1950年。

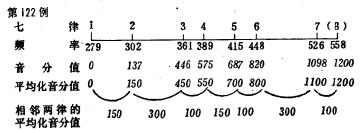
上列各种斯连德罗调式互有联系。例如把第一种调式〔上例中(1)〕的第三音作为主音,构成另一种调式,就是第二种调式 [上例中(2)]。把第二种调式的第四音作为主音,构成另一种调式,就是第一种调式。又,把第三种调式的第四音升高一律,就成为第二种调式。这种调式间的变化,极似古代印度乐制中音阶变化的方式(用音阶中某音作为主音,可以构成其它调式,音阶中某音降低一律,就成为另一种音阶[\$207])。

东南亚地区盛行着一种五声调式,它与上例(3)的调式近似。 § 219. 五平均律和十平均律属于同一体系,把五平均律的 各律都分为两律,就成为十平均律。关于两种律制的规律性问题,下面单就五平均律来说明,十平均律可以类推。

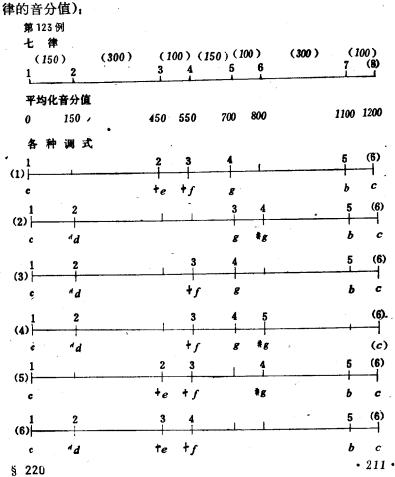
五平均律的定律法,可能基于"狭四度"。五平均律的第一律至第三律,为480音分。这个音程比纯四度(498音分)稍狭,而与狭四度非常近似。狭四度指 c-f、d-g等,如第38例中第7律 d'到第22律 g'。两音的频率比是 320,音程值是476音分。用这种狭四度来定律,可以产生五平均律的各律。即根据狭四度,从第一律得出第三律,依同法,从第三律得出第五律,再由高八度(即第六律)往下定律(同样根据狭四度),得出第四律;由第四律得出第二律。

在第121例(2)(3)两种调式上,都有480音分的第三音。这说明狭四度在十平均律的某些调式上,也是存在的。

§ 220. 甘美兰乐队中另一种乐队——培罗格乐队——的乐制,是各律参差不等的七律制;在这种七律上构成各种五声调式。现在引用埃利斯对培罗格乐队乐器所作的测算如下。例中的"平均化音分值",是把测音所得的音分,以50音分为单位,略予增减而成。



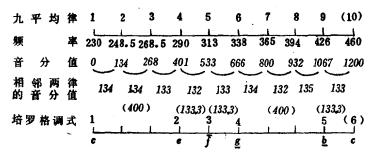
根据上面的七律构成各种调式如下(括号内数字表示相邻两



上面所列的六种调式,显然互有关系。例如,把第一种调式的第五音(b)作为主音来构成调式,就大体相当于第四种调式。 又把第一种调式中的第四音(g)移高一律,就成为第五种调式。 这种调式的变化,在原理上与第二种斯连德罗所具有的相一致。

8 221. 对于培罗格乐制,另有一种测算结果。根据奥国比较音乐学家、音乐心理学家兼物理学家霍恩博斯特尔(Erich von Hornbostel,1877—1935)的测算,认为培罗格是九律制,在九律上构成五声调式[看下例]。从下例各相邻两律的音分值看来,这种律制显然是九平均律,各律的"平均化"音分值应为133.3音分。下例中调式一行(最下一行)其括号内的数字,表示相邻两音间的音分值(平均化音分值)。

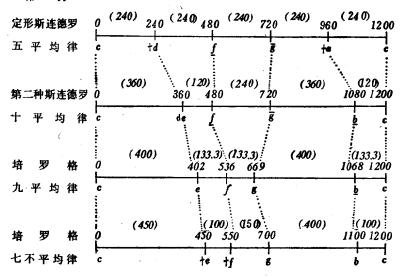
#### 第124例



上例中的调式,极似第123例中第一种调式。

§ 222. 斯连德罗乐制和培罗格乐制虽是两种不同的 乐制, 但是两者之间互有联系,而且有类似或共同之处。

下例从各种斯连德罗乐制和培罗格乐制中选出几种调式,加以比较,用以明示各种调式之间在某些音的高度上有相同或近似之处,或在调式构造上有相似之处。



两类斯连德罗律制和培罗格律制的共同点,是都盛用四分之三音(包括由四分之三音演化成的音)。五平均律其相邻两律的距离都是240音分,而240音分可以视为"四分之五"音(即全音加四分音[ $\S$ 198])。培罗格律制中也屡次出现四分之三音(150音分)。第124例所示的培罗格调式中 $e-\bar{f}$ 和 $\bar{f}-\underline{g}$ 之间的音程,都接近四分之三音。

斯连德罗和培罗格两种乐制,都用五声调式。这样看来,印 度尼西亚甘美兰乐队所用的两种乐制,可以视为四分之三音体系 和五声体系的结合。

§ 223. 关于甘美兰乐队的乐制(包括东南亚地区相应的乐制),目前对十平均律和九平均律的存在问题,尚有争议。举例来说,如果把树源次郎等测算的第二种斯连德罗乐制[§217]和霍恩博斯特尔测算的培罗格乐制[§221],都归人埃利斯测算的培罗

格乐制〔§220〕,——具体地说,如果把第121例中(3)调式和第124例中的调式,都归入第123例(1)调式,则十平均律和九平均律就不复存在了。造成律制上这种争议,有多方面的因素。例如,测算者所据以测音的乐器有地区的不同,随之而有音律的差异;用以测音的乐器几乎都是打击乐器,这种乐器所发之音的高度常不够明确,因此,几个人的测音结果往往彼此不同。加上律学工作者调整不整齐的音分值使之"平均化"时,常有不同的做法。因此难免在民族乐制上发生不同的见解,引起理论上的争议。

应当着重指出的是,在民族乐制上提出各种平均律制,是较近的事,是律学研究上的新成果,它有利于民族律制的掌握和探讨,因此应当给予重视。

附带提起,前章所述的古代印度的二十二平均律和近代阿拉伯的二十四平均律,都属于民族平均律制。

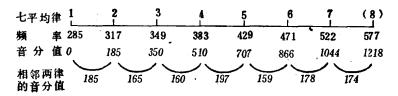
## 泰国等地的七平均律

§ 224. 关于民族平均律制,上面缕述了五平均律、十平均律和九平均律,那么还有哪种平均律呢?——就是七平均律。这种七平均律的律制(包括与它相近似的律制)存在于泰国、缅甸、柬埔寨、老挝和新加坡等东南亚国家的器乐中,也存在于我国潮州音乐中。七平均律与五平均律一样,既是律制,同时又是乐制,因为它既是七平均律,同时是平均七声音阶。

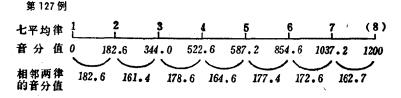
§ 225. 泰国的民族器乐中存在着七平均律。埃利斯曾 对 泰国一种叫做"拉那特・埃克" (lǎnàt ek) 的木琴式打击乐器 进

行测音。他同时对可以与拉那特·埃克合奏的同类打击乐器进行测音。他把从两种乐器测音所得的频率,加以平衡,得出适中的频率。从这种适中的频率算出音分值;再把各律的音分值略予增减,得出平均化音分值。在测音时,埃利斯给乐器演奏者试听标准的平均七声音阶(相邻两音都是171.4音分)和拉那特·埃克所奏出的不甚准确的平均七声音阶,问他们两种音阶哪个准确;演奏者异口同声地认为前者准确。埃利斯由此断定,从乐器测算虽不能得到绝对准确的七平均律,但实际泰国的民族律制存在着七平均律。下例是埃利斯对拉那特·埃克测算的结果。

第 126 例



德国比较音乐学家兼音乐心理学家 C. 斯图姆 普夫 (Carl Stumpf, 1848—1936) 也曾对泰国的木琴类乐器进行测算,证明泰国的民族律制存在七平均律。斯图姆普夫的测算结果如下:

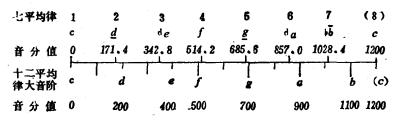


§ 226. 把埃利斯和斯图姆普夫两人的测音结果,分别加以平均化,得出七平均律的相邻两律的音分值为171.4。

把平均化后的七平均律(即平均七声音阶)与十二平均律大音

阶相比较如下。音名借用现代通用的音名。音名上加用的记号, 与五平均律同[参看§216]。

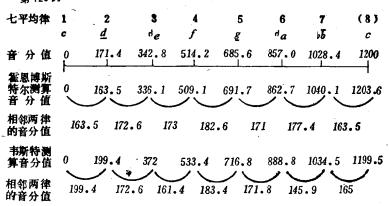
第128例



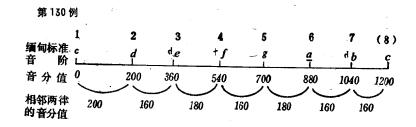
作为平均七声音阶,上例音阶中第二音接近小全 音(182 音分),第三音接近中立三度(355音分)[§198],第四音接 近 纯 四度(498音分),第五音接近纯律狭五度(680音分),第六音接近中立六度(853音分),第七音接近纯律小七度(1018音分)。

§ 227. 泰国的七平均律,据说古时随着木琴类乐器 传入 缅甸。霍恩博斯特尔和韦斯特 (West)都曾对缅甸的民族 乐器"巴塔拉" (pattalā) (一种木琴)等进行过测算,证明缅甸存在着 七平均律或接近七平均律的律制。看下例,

第129例



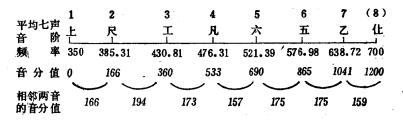
看上例不难发现,韦斯特测算的结果,只是接近七平均律。因为第一音和第二音之间的音程,是大二度(十二平均律)。在这一点,韦斯特测算的结果相当于"缅甸标准音阶"。所称缅甸标准音阶,是缅甸的音乐理论家京·诌①(Khin Zaw)提出的,如下例(各音记以现代通用的音名)。



这是接近七平均律的一种律制。这种律制的重要特点是,除 了第一音和第二音之间的音程是大二度之外,第一音和第五音之 间的音程是纯五度。

§ 228. 我国广东潮州音乐中"重六调"所用的乐制,也是平均七声音阶。根据谢永一同志在1953年对源正剧团(潮剧团)所用的扬琴(扬琴的音的高度是固定的),进行了测音,得出各音的

第131例

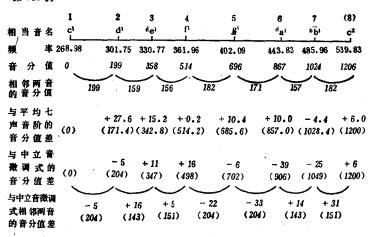


① 根据京·诌所著《缅甸的音乐》(Burmese Music), 1941年。

频率①, 根据频率算出音分值, 如上面第131例所示。

也有人认为,潮州音乐的"重六调"不是平均七声音阶,而属于中立音徵调式(即有两个中立音的徵调式〔第116例〕)。现在举示王湘和姜夔两位同志根据潮州音乐"重六调"《寒鸦嬉水》②进行测音的结果,如下例:





上例为了便于与平均七声音阶以及中立音徵调式相比较,把该二种音阶(调式)的音分值差附在下面。差数下面括号内数字是平均七声音阶等的标准音分值。

上例中主音 c¹音, 比十二平均律的 c¹ 音高48音分。

从上例的音分值可以看出,《寒鸦嬉水》的音阶中各音,有好几个与平均七声音阶相同或接近。例如第四音,两方 面 是 相 同的,第五音、第六音和第七音,《寒鸦嬉水》方面都与平均七声音

① 根据《潮剧音乐》, 1958年, 广东人民出版社出版。

② 根据唱片《北京的旋律》(中国唱片厂, M-645, 约60年代出品)。

阶接近。在"相邻两音的音分值"一栏,从中立音(第三音和第七音)距高低两方音的音程看来,则《寒鸦嬉水》的音阶与中立音徵调式有类似之处(虽则 b¹—c² 之间的音程还是比较大的〔182 音分〕)。关于这方面,尚需通过对较多资料的测音,进行深入的研究。

# 日本的律制和五声调式

§ 229. 日本民族律制是十二律制;第一律名为"壹越"①,其它各律律名如下例(1)。各律用"顺八逆六"法相生而得。顺八逆六相生法,实际就是五度相生法。由一律出发,向上产生一律,——这个律由出发律数起为第八律(如下例(1)中的壹越产生黄鐘);这就是"顺八",也就是上方纯五度。由一律出发,向下产生一律,——这个律由出发律数起为第六律(如黄鐘产生平调);这就是"逆六",也就是下方纯四度。顺八逆六相生法引伸为"顺六逆八"相生法。由一律出发,向上产生数作第六律的另一律(如壹越产生双调);这就是"顺六",也就是上方纯四度。由一律出发,向下产生数作第八律的另一律(如神仙产生膀绝);这就是"逆八",也就是下方纯五度。各律相生法看下例(2),单线表示顺八逆六相生法,双线表示顺六逆八相生法。

① 律名的日语读音如下: 查述=ichikotsu; 斷金=tangin; 平调=hiojo; 勝绝=shozetsu; 下無=shimomu; 双调=sojo; 追鐘=fusho; 黄鐘=oshiki; 鸞鏡=rankei; 盤涉=ban; hiki; 神仙=shinsen; 上無=kamimu。





上举的十二律,在五度音列[第三章,第14例]上,可以视为由 c 音出发,向上取六律,向下取五律而成。

§ 230. 近代日本民族律制,把壹越的绝对 高 度 定 为 频 率 292.7; 这个高度相当于今日十二平均律的 d ' 音, 而比 d ' 音低 6 音分。壹越定为频率292.7时,照顺八逆六相生法,则 黄 鐘(a ' 音)的频率为439.1,比今日标准的 a ' 音(频率440)低 3 音分。其它各律照上例(2)所示的相生法而得的频率和音分值,如下例:

#### 第134例

§ 231. 日本的民族调式是五声调式。这种五声调式大别为 "无半音五声调式"和"有半音五声调式"两类,两类五声调式

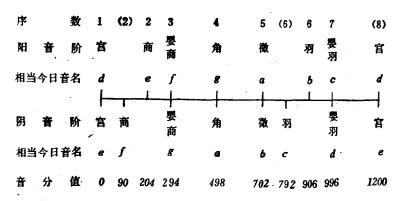
· 220 ·

① 从频率(包括音分值)看来,本律更接近于 $^{4}$ C<sup>2</sup> 音;为了与上例(2)取得一致,这里仍记作 $^{6}$ d<sup>2</sup>音。

的形成,由于音阶中某**两**音移动一律而起。

照日本音乐学家田边尚雄〔846〕的理论分析,日本的民族调式由音阶而形成①。 他所说的音阶和调式,与我们习惯所用的音阶和调式,含义略有不同。田边尚雄认为,在日本民族音乐,其音阶由七声构成,调式(日本称为"旋法")则从音阶中选用五声构成。音阶分"阳音阶"和"阴音阶"两类,调式也随之分"阳调式"(即无半音的五声调式)和"阴调式"(即有半音的五声调式)两类。如下例:

第 135 例



日本音阶中各音,称为"宫、商、角、徵、羽"外加"婴商"(比"商"高一律或二律)、"婴羽"(比"羽"高一律或二律)。

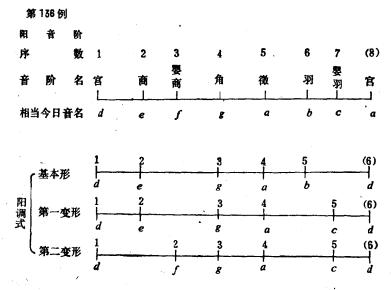
阳音阶和阴音阶两类音阶的区别,由音阶中商和羽两音移动一律而起。看上例,上方表示阳音阶,下方表示阴音阶。音分值

① 有关日本民族调式和日本律制,本书根据田边尚雄所著《音乐音响 学》(1950年)和《音乐理论》(1956年)两书的有关章节写成。

照五度相生律计算。

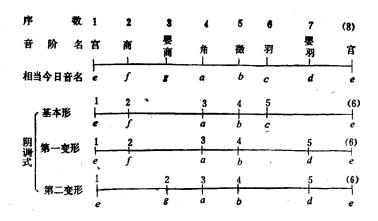
§ 232. 从上例的七声音阶中选用五个音,就构成五声调式。 婴商和婴羽两音,分别由商和羽两音变化(升高)而成,供代替商 和羽两音之用。因此,在一种调式中,商和婴商不同时使用,羽 和婴羽也不同时使用。

从七声阳音阶中选用宫、商、角、徵、羽五个音(不用婴商和婴羽),就构成阳调式的基本形。不用羽而代之以婴羽,就构成阳调式的第一变形。不用商而代之以婴商,就构成阳调式的第二变形。看下例。



依同理,从七声阴音阶中选用五个音,就构成三种阴调式。 看下例。

## 第137例 阴 音 阶



上举二例中,阳调式的第二变形和阴调式的第二变形,实际 是相同的。

阳调式和阴调式,除了以宫音为终止音之外,还常常以角音或徵音为终止音,构成了"变格"的调式。

§ 253. 被誉为"日本民族音乐研究的先驱者"上原六四郎 (Wuehara Lokushiro, 1848—1913) 在其所著《俗乐旋律考》 (1895年) 中,曾对日本民族调式提出划分为"田舍节"(指农村的民歌所用的调式)和"都节"(指都市的歌曲所用的调式)两类调式,并指出有上行和下行两种形式的理论。前面引用的田边尚雄的理论,与上原六四郎的理论,基本上是一致的。看下例,无半音五声调式的阳调式相当于田舍节,有半音五声调式的阴调式相当于都节,第一变形相当于上行形,基本形相当于下行形。

### 第138例



# 中国的有半音五声调式问题

§ 234. 我国的五声调式一般都是无半音五声调式。个别地区也存在着有半音五声调式,例如湖南花鼓戏音乐和四川凉山彝族器乐曲中所用的五声调式。由于这些调式是否存在确定的半音,或能否成为固定的调式,还不能确定,因此这里作为问题提出来研究。

关于湖南花鼓戏音乐,一般认为采用如下的调式。这种调式的特点是,半音只存在于曲调的低方音,而不存在于高方音。即只在曲调的低方音采用有半音五声调式[下例(1)],而在高方音则用无半音五声调式[下例(2)]。

### 第 139 例



贵州剑河侗族的《酒歌》也用上例(1)的调式。

\$ 234

根据姜夔同志对湖南花鼓戏《刘海砍樵》唱片①进行测音,得 出结果如下例:

第140例

注意调式的主音不在起点处,其所以这样安排,是由于调式中关键所在的变化音在于低方。但是音分值的计算法,仍以调式的主音为起点,记作 0;主音的低方音的音分值记以负数。又例中音名下面括号内的数字,表示与十二平均律相当音的音分值差。

调式关键所在的低方七度音 <sup>†</sup>a 音,比 a 音高一个四 分 音。即七度音的升高,不到半音,只有四分音。这个升高四分音的七度音,距主音的音程,超过半音,成为四分之三音(151音分)。

至于在调式的其它各音间,出现一些特殊的音程(例如三度音距主音的音程〔344音分〕,属于中立三度〔347音分,§211〕),恐怕是偶然的。

总之,从这张唱片的测音看来,湖南花鼓戏《刘海砍樵》这一 段音乐的调式是带有四分音 (不是半音)的五声羽调式。如果由 别的剧团演唱,或在同一剧种的不同唱段中,则这个调式的七度

① 《刘海 砍樵>头段, 中华唱片53001甲。

音会由四分音变成半音,是完全可能的。所以需要对较多的资料 进行测音,才能断定这个七度音的准确高度及其变化的规律。

四川凉山彝族器乐(月琴、胡琴)中,存在一种有半音五声调式。例如:

第141例



这种调式出现在普雄县的《月琴曲》或该项乐曲的某些段落<sup>①</sup>中,严格地说,不能成为固定的调式,而只是一种调式的变形。由于在这些地区的民间音乐中,经常在一种调式中出现比较固定的变化音,因此姑作为一种调式来提出,究竟能否成为固定的调式,有待于深入研究。上例的调式,由于一时找不到适当的音响资料,测音数据暂缺。

## 亚非地区其它民族乐制

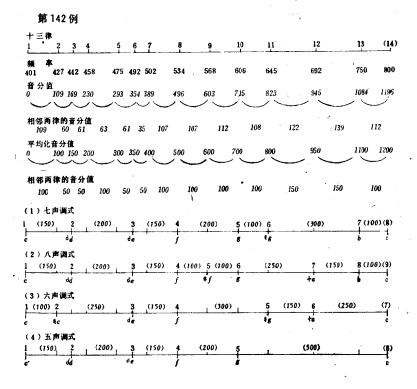
§ 235. 从土耳其的音乐作品,可以归纳成一种十三律制,这是一种参差不齐的十三律制,如下例。这是以50音分为单位,把

① 多看《凉山彝族民间器乐曲选集》(中国音乐家协会成都分会编,1960年,音乐出版社)。现转录一段用上例调式的《月琴曲》如下:



音分值加以"平均化"而成。平均化以后,仍然是参差不齐的十三律制,并未变成平均律。在这种十三律上,构成各种音数的调式。现在把七声、八声、六声和五声调式,各举一例如下。调式中各音,记以近代通用的音名。按照频率,第一音是401,相当于g¹音(比g¹高40音分)。现在为便于观察起见,调式的第一音都记以c音。

土耳其的这种乐制,显然属于四分之三音体系。

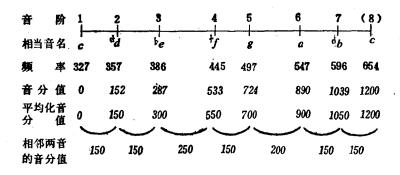


§ 236. 在西非地区,根据埃利斯对该地区的民族 乐器 "巴拉福" (balafo) (一种木琴式乐器)的测算,发现有如下的 两种 § 236 • 227•

乐制。

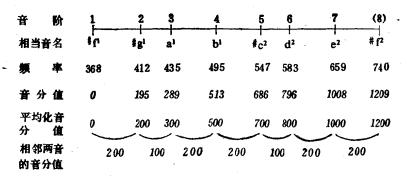
下面的音阶是以50音分为单位,把各音加以平均化而成。这个音阶属于四分之三音体系。音阶第一音的频率是327,相当于e'音(比e'音低11音分)。现在为便于观察起见,把第一音记作c音。

第143例



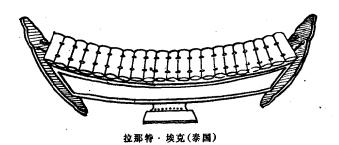
西非的另一种音阶,相当于近代欧洲七声体系的小音阶,看下例。音阶第一音的频率是 368,相 当 于 \*f¹ 音 (比 \*f¹ 音低 7 音分)。这个音阶实际相当于 \*f 小音阶(自然小音阶)。

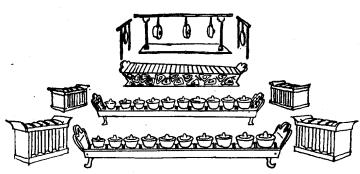
第144例











甘美兰乐队的部分乐器(印度尼西亚)

# 第十章 今天各种律制的应用问题

# 十二平均律的应用问题

§ 237. 自从十二平均律流行以来,由于该律制存在着一些 缺陷,因此在理论上曾经出现非议十二平均律的倾向,一度掀起 一场"纯律热"。这种倾向也曾在科学实验上表现出来。而且凡 是应用十二平均律而曾经接触过纯律音程的人们,都可能多少沾 上这种倾向。但是近代的测音技术却又证明,在弦乐(小提琴类 乐器)和声乐的演奏演唱实践上,纯律并不是普遍存在的,有时 竟游离于几种律制之间,形成"三不象"的状态。这样就使一些 人对律制产生虚无主义,对是否存在律制产生了怀疑。

较近的情况是,经过历来的理论上和实践上的多次 反 复 之后,十二平均律已得到普遍的承认,同时认识到音律具有适当的变通性和灵活性。

德国音乐学家爱因斯坦 (Alfred Finstein, 1880—1952)曾提出<sup>①</sup>,音阶中某些音凭其处于"静态"或"动态"而异其音律。静态和动态,即指一音处于和声的地位或曲调的地位而言。例如在 C大音阶中, b 音在和声性强显的段落中作为属和弦的 三

① 根据爱因斯坦(创立"相对论"的物理学家爱因斯坦 [Albert Einstein]的堂弟)编订的新版里曼[§40]《音乐辞典》中"音律" (Temperatur)条。

音而出现时,它就处于静态,为了获得 g—b 大三度的和谐 的 音响效果,b 音要求与 g 音保持纯律大三度的高度关系。如果这 个b 音在曲调性强显的段落中作为具有进入主音的强烈倾向的导 音而出现时,它就处于动态,要求按照五度相生律的高度关系。

在十二平均律处于主导地位的目前情况下,上举的爱因斯坦的理论是合理的,是切合实际的。它说明了律制的合理的变通性,而这种变通性是服从于音乐的性质的。

§ 238. 十二平均律与五度相生律以及纯律之间的矛盾,在第五章 <十二平均律>中 §107、§108 已作了详细的说明。十二平均律在应用上有其优点,也有其缺点。为了适应今天 音 乐 上 移调、转调和变化音的需要,十二平均律是切实可行的最佳的律制,哪怕是多么复杂的转调和繁多的变化音,十二平均律都能应付裕如。但是十二平均律确也存在着一定的缺点,除了构成大小三和弦时音律不纯〔第四章,§80、§82,第五章,§105、§106〕之外,还有"协和音"和"不协和音"的界限模糊不清的问题。

今日多声部音乐,以音程的协和性和不协和性作为音结合的 两大范畴。协和音凭"融合性"给人以安定之感,不协和音则由于"混杂性"给人以不安定之感。八度或纯五度的两音的结合,产生协和音,大小三度和大小六度的两音的结合,产生次协和音,二度、七度和增减音程的结合,产生不协和音。现在在十二平均律上,于 a—b 之间用一个两可的 'a 或 b b,两音可以随时变换(这称为"等音变换" [enharmonic change]),以致小三度 c—be 的协和音和增二度 c—bd 的不协和音,在音的高度上完全相同了,又小六度 c—ba 和增五度 c—bg,在音的高度上也完全相同了。这样就把协和音与不协和音的两个范畴,完全混淆了。

§ 239. 在用十二平均律调音的钢琴上,怎样解释这个 矛盾呢? ——在音乐中,每个音都不是孤立的,它总是与别的音结合成一组音,才发生一定的意义。对一个音,要看它在音阶与和弦中处于何种地位,又看它与前后音如何联系,才有可能决定它为何音,发生何种意义。

先用实例来说明小三度 c¹一'e¹和增二度 c¹一'd¹的不同,亦即 'e¹和'd¹的不同。下例 (1) 引自奥国作曲家舒柏特 [Franz Peter Schubert, 1797—1828]的作品。例中第二小节 'e¹音,是音阶的第三音,同时是主和弦的三音 (看第二小节第二拍,较为明白),与前小节比较, 'e¹音是 C大音阶的第三音降低半音,使大调(C大调)转入同主音小调(c小调)。下例(2)引自匈牙利作曲家李斯特 (Franz Liszt, 1811—1886)的作品。例中'd¹音是 C大音阶的升高的第二音,同时是变化 I 7和弦中的升高的根 音,当这个不协和弦进入主和弦以事解决时,'d¹音进行到音阶的第三音 e¹音上。即'e¹音和'd¹音尽管在钢琴的键盘上是同一个音,但是由于两音在音阶与和弦中处于不同的地位,又与前后音的联系也各有特点,因此,'e¹音属于调内的音(音阶的第三音),与主音(c¹)结合时表现为次协和音,而'd¹音则属于调外的变 化音(升高的第二音),在和弦中与主音结合时,表现为不协和音。

#### 第145例

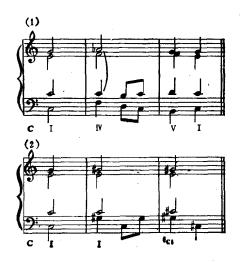




§ 240. 再举实例来说明小六度 c¹-'a¹和增五度 c¹-'8¹的不同,亦即'a¹和'8¹的不同。在下例(1), 'a¹音是 C大音阶的降低的第六音,同时是变化 Ⅳ 和弦的降低的三音。在下例(2), '8'音则是C大音阶的升高的第五音,同时是变化 Ⅰ 和弦的升高的五音。

【和弦因为有了升高的五音,使和弦成不协和的增三和弦。通过这个增三和弦,使 C 大调转人 'c 小调。 'a ' 和 'g ' 两音在音阶与和弦中处于不同的地位,又与前后音的联系也 各 有 特 点,因此, 'a ' 音和主音 (c¹) 相结合时,表现为协和音,而 'g¹ 音与主音相结合时则表现为不协和音(虽则 'a¹ 音也可以组成不协和音,如例(1)第二小节第二拍前半)。

第146例



§ 241. 今天钢琴全都依照十二平均律来调音。少数的 例 外 是,有的演奏家为了保持十七、十八世纪作曲家的原有风格,要求钢琴依照中庸全音律[第七章,§172]来调音,用以演奏十七世纪时英国和意大利的作曲家的奏鸣曲(这种乐曲当时是用中庸全音律写的),以及与巴赫同时代的作曲家为风琴写的前奏曲 和赋格曲(在巴赫时代[1700—1750]风琴尚未用十二平均律调音),甚至莫扎特(Wolfgang Amadeus Mozart, 1756—1791)的奏鸣曲和钢琴协奏曲。

# 小提琴演奏上的音律问题

T

§ 242. 小提琴是技术性很强的乐器之一。这种很强的技术性有很大一部分由于音律的复杂性所造成。三种律制(十二平均律、五度相生律和纯律)都会出现在小提琴的演奏上,此外还有其它音律方面的变化。今天音乐从业者一般都受过十二平均律的训练,熟悉十二平均律,因此小提琴家的演奏以不同程度接近十二平均律,是十分自然的。同时在盛用多声部的现代,加强了纯律的要求,因此,小提琴演奏上或多或少总会受纯律的影响。据赫尔姆霍尔兹[第七章,§186]的测验,匈牙利小提琴家约阿希姆(Joseph Joachim, 1831—1907)是用纯律演奏小提琴的。但是,由于在小提琴之类乐器上,五度相生律源远流长,影响深广,因此总的倾向,在小提琴演奏上,五度相生律还是占着上风。

此外,小提琴演奏上,在一种律制内还有"变通"的问题。 即一种律制在一定范围内自由变化,这也是完全可能的。例如, 当音乐变得激动时,或遇到向上跳进的音程,音律有升高的可能。德国音乐理论家兼小提琴家豪普特曼[第四章,\$78]对小提琴演奏指出①。"数学上严格准确的音律,不能满足活生生的演奏"。他认为,小提琴演奏上"活生生的音律并不严格准确,正如演奏上活生生的拍子不完全符合于拍节器一样"。我们应当正确地理解音律上的准确性和变通性两者之间的辨证关系。准确性是基础,但是在如此生动的表演艺术上,不可能没有灵活性。我们既不应由于律制的存在而否定演奏实践上的灵活性,但是也不能因演奏上出现音律的自由变化而否定律制的存在。新近有些音乐理论家几乎完全否定律制的存在,这显然是片面的看法。

现代测音技术的进步,使人们能够准确地知道演奏家和演唱家所用的音律,当人们发现音律在演奏实践中如此复杂不定,不禁目瞪口呆。如果我们能正确地理解音律的准确性和变通性的辨证关系,那么我们就不致被这种复杂不定的现象所迷惑了。

§ 243. 经验和测音计算都证明,直到今天,对小提琴等弦乐器(包括小提琴、中提琴、大提琴和倍大提琴)的演奏者,五度相生律的影响还是根深蒂固的。小提琴等弦乐器不仅都用五度相生律纯五度或纯四度定弦,而且演奏半音时,通常尽量把音程缩小〔详见后文§246(1)〕。在小提琴上奏'c音时,常把'c音尽量紧靠上方的 d 音,以便解决于 d 音,奏'd音时,常把'd音尽量紧靠下方的 c 音,以便解决于 c 音。又,大提琴和倍大提琴的演奏者,常以相当大的手指距离,奏较高的'c 音和较低的'd 音。这种'c和'd 两音之间的关系,正如第三章第20例和第21例所示,

① 根据斯科尔斯 (Percy A. Scholes) 编《牛津音乐辞典》 (The Oxford Companion to Music) (1970年, 第十版)中"音律" (temperament)条。

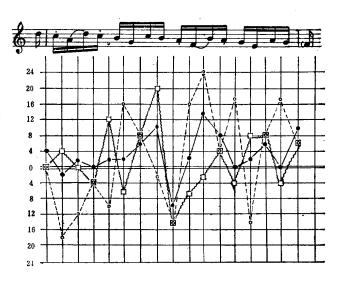
c 音高于 d 音。这些都是应用五度相生律的表示。

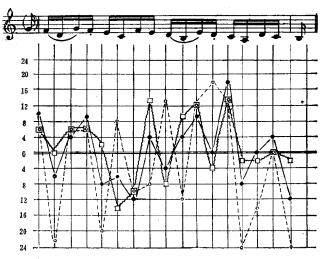
§ 244. 格林 (Paul C. Green) 曾就当代六位小提琴家加以 测验①。 被测验的六位小提琴家,都是在小提琴演奏上有很深的 造诣的人,有管弦乐队的指挥或首席小提琴演奏者,有音乐学院 的小提琴教授, 等等。他们演奏同一的乐曲——法国小提琴家克 罗伊策(Rodolphe Kreutzer, 1766—1831)的《练习曲》第三首, 演奏时不带伴奏,不奏"吟音"[见后文§251]。他们各从该曲的 第一小节最后一音开始,共演奏五十六个音。现在就所演奏的五 十六个音中,摘取前面的三十四个音,把六位被测音的小提琴家 中的一位——归迪, (Scipione Guidi), 圣路易交响管弦乐队的 副指挥兼首席小提琴演奏者——的演奏的测音结果摘录如下例。 这个实例所要表明的是, 演奏时各相邻两音间的音程, 对十二平 均律、对五度相生律和对纯律的标准高度的差距(较高或较低多 , 少音分)。实例中, 五线谱下面的直线即表示这种差距。 横线 表 示差距的数据。零(0)所指示的双线,表示标准高度;零上方的 数字所指示的横线,依次表示高于标准高度多少音分,零下方的 数字所指示的横线,依次表示低于标准高度多少音分。黑点和实 线(•一)表示演奏时与十二平均律相符合或存在某种程度的差 距。方框和曲线(□-----)表示演时与五度相生律相符合或存在某 种程度的差距。圆圈和虚线( 。 ---- )表示演奏时与纯律相符合或 存在某种程度的差距。圆圈外面加方框(回),表示五度相生律和 纯律处于同一的情况。用下例中第一音和第二音构成 的 大 二 度

① 根据美国音乐心理学家西肖尔(Carl E Scashore, 1866—1949)所著《音乐心理学》(Psychology of Music) 一书(1938年)中引用格林关于小提琴音律问题的研究报告。

 $(d^2-c^1)$ 为例,演奏时比十二平均律高 4 音分,对五度相生律和纯律都完全准确。

第147例





上例一小段练习曲的测音结果表明,这位小提琴家所奏出的 各音程,对十二平均律的差距与对五度相生律的差距,大体上相 同,从差距的数据看来,对五度相生律的差距比对十二平均律的 差距为大,最大达20音分。但是,对纯律的差距就更大,最大达 24音分;而且符合或接近纯律的音程,相对之下也比较少。可见 **演奏者比较接近十二平均律或五度相生律。** 

以上只就一位小提琴家对练习曲一小段的演奏的测音结果而 言,如果把六位小提琴家对练习曲的五十六音的演奏的测音结果 一齐加以统计,就会知道,总的情况是接近五度相生律〔详后文 \$246]

又上例表明,对同一音程先后两次出现时,有时完全相同, 有时有微小的差异,有时有明显的不同。例如,两次出现在第一 小节的第三拍和第四拍内的 a¹-g¹音程, 完全相同。两次 出现 在第一小节的第一拍前和第一拍内的 d2-c2音程, 微有差异(相 差 4 音分)。 两次出现在第二小节的第三拍和第四拍内的 d¹--c¹ 音程,有明显的不同(相差14音分)。

§ 245. 为了读者便于仔细查对上例中各种音程在三种 律 制 上的区别,又便于理解下文关于各种音程的统计,有必要把这几 种音程的类别和音分值, 概述如下,

(1) 小二度, 即半音:

五度相生律(小)半音(90音分) 例如 b1 — c2 、 e1 — f1 纯律(大)半音(112音分) 例如 b1-c2、e1-f1

小于十二平均律半音(100音分)10音分

大于十二平均律半音12音分

(2) 大二度, 即全音,

音分)

纯律和五度相生律大全音(204 大于十二平均律全音(200音分)4音分

例如 c<sup>1</sup>—d<sup>1</sup>、f<sup>1</sup>—g<sup>1</sup>、a<sup>1</sup>—b<sup>1</sup>

纯律小全音(182音分)

例如 d1--e1、g1--a1

小于十二平均律全音18音分

(3) 小三度:

五度相生律小三度(294音分) 例如 a1-c2、d1-f1、b-d1

d i

小于十二平均律小三度(300音分)6音分

纯律小三度(316音分)

例如 a1-c2、d1-f1、b-d1

大于十二平均律小三度16音分

(4] 大三度:

五度相生律大三度(408音分)

例如 $g^1-b^1$ ,  $f^1-a^1$ ,  $c^1-e^1$ 

大于十二平均律大三度(400音分)8音分

纯律大三度(386音分)

例如 g1-b1、f1-a1、c-e1

小于十二平均律大三度14音分

(5) 纯四度:

五度相生律和纯律纯四度(498音分) 小于十二平均律纯四度(500音分)2音分例如  $d^1-g^1$ 、 $c^1-f^1$ 、 $g^1-c^2$   $e^1-a^1$ 、 $e^1-a^1$ 、 $a^1-d^2$ 

(6) 纯律宽四度(520音分) 例如 a1—d2 大于十二平均律纯四度20音分

(7) 增四度:

五度相生律增四度(612音分) 例如 f<sup>1</sup>--b<sup>1</sup> 大于十二平均律增四度(600音分)12音分

纯律增四度(590音分)

小于十二平均律增四度10音分

例如 f1-b1

举例来说明。上例中第一个音程 d²-c², 这是全音。测音记录表明,照十二平均律,这个音程的演奏高度比标准高度 高 4 音分;可见这个音程的演奏高度是204音分(200+4=204)。在五度相生律和纯律,大全音正好是204音分;所以照该二律制,这个音程的演奏高度与标准高度完全符合。

又上例中第二个音程 c²-a¹, 这是小三度。测音记录表明,

照十二平均律,这个音程的演奏高度比标准高度低 2 音分;可见这个音程的演奏高度是298音分(300-2=298)。在五度相生律,小三度是294音分;所以照五度相生律,这个音程的演奏高度比标准高度高 4 音分(298-294=4)。又在纯律,小三度是316音分;所以照纯律,这个音程的演奏高度比标准高度低18音分(316-298=18)。

- \$ 246. 从六位小提琴家对克罗伊策的 <练习曲>的五十六个 音的演奏的测音结果,把其中五种音程──小二度、大二度、小 三度、大三度和纯四度──分别加以统计,得出平均数如下。
- (1) 小二度(即半音)。统计的平均数表明,各小提琴家奏出的半音(例如 b¹-c²、e¹-f¹等),音程有强烈的缩小趋势。用百分比说明具体的情况,有 24% 符合或接近(6 音分 稍 高或稍低[下同])于十二平均律半音;没有一个完全符合于纯律半音,只有 5% 接近于纯律半音,但是有42%符合或接近于五度相生律半音;并有28%以不同程度小于五度相生律半音(个别竟有小于五度相生律半音36音分的)。
- (2) 大二度(即全音)。统计的平均数表明,各小提琴家奏出的全音(例如 c²-d²、a¹-b¹、g¹-a¹等),音程有强烈的扩大趋势。用百分比说明具体的情况,有29%符合或接近于十二平均律全音,只有5%符合或接近于小全音,但是有40%符合或接近于大全音,并有26%以不同程度大于大全音(个别有大于大全音32音分的)。
- (3) 小三度。统计的平均数表明,各小提琴家奏出的小三度(例如  $a^1-c^2$ 、 $e^1-g^1$ 等),有类似小二度所具有的 趋势。有 17%符合或接近于平均律小三度,有12%符合或接近于纯律小三

度,有44%符合或接近于五度相生律小三度,有20%以不同程度 小于五度相生律小三度(有小于五度相生律小三度26音分的)。

- (4) 大三度。统计的平均数表明,各小提琴家奏出的大三度(例如 8<sup>1</sup>-b<sup>1</sup>、f<sup>1</sup>-a<sup>1</sup>等),有类似大二度所具有的 趋 势。有 20%符合或接近于平均律大三度;没有一个完全符合于纯律大三度,只有 4% 接近于纯律大三度;有41%符合或接近于五度相生律大三度(六位小提琴家中有四位经常保持着符合于五度相生律大三度);有26%以不同程度大于五度相生律大三度(有大于五度相生律大三度32音分的)。
- (5) 纯四度。五度相生律和纯律的纯四度,与十二平均律 纯四度比较,只少2音分;由于两种纯四度差距极微,可以合并 统计。统计的平均数表明,有71%符合或接近于平均律和纯律纯 四度;有19%以不同程度大于这种纯四度(个别有大于平均律纯 四度24音分的);有15%①以不同程度小于这种纯四度(个别有小 于平均律纯四度24音分的)。

对纯四度的统计平均数,有一点须注意,即"大于纯四度"和"小于纯四度"双方,是相平衡的。即在质量上双方都超出(大于或小于平均律纯四度)24音分;在百分比数量上双方大体相同,不象在大小二度和大小三度那样,要么倒向扩大一边,要么倒向缩小一边。

从上面的测音和统计的结果可知,六位小提琴家所奏出的五 种音程,就精密的高度而言,即不完全合于十二平均律,也不完 全符合于纯律,而接近五度相生律。

§ 247. 小提琴等弦乐器演奏者参加弦乐重奏、弦乐合奏以

① 这里各百分比的比值的总数超过了100。这是由于原来计算上的误差所致。

至管弦乐队合奏时,必然会把五度相生律带进了各该重奏和合奏中去。今日的弦乐重奏等,一般倾向于五度相生律,但是在个别处所或段落,由于特殊的需要,就改用纯律,——用纯律音程或纯律和弦。

弦乐四重奏并不如某些人所想象,全部用纯律**演奏。现在举** 述弦乐四重奏的作品中个别处采用纯律音程和纯纯和弦的实例。

下例引自柴科夫斯基 (Peter Tchaikowsky, 1840—1893) 的第三 《弦乐四重奏》 (作品第30号, 'e 小调) 第一乐章, 第一小节至第八小节(括号内数字表示小节数,箭头表示所要说明的音)。第六小节里第一小提琴的 'b'音和第二小提琴的 'f'音,如果照五度相生律,应分别比第二小节里的 'c'音和 'g'音稍高[参看第三章864]。苏联拉本①提出,第六小节里的 'b'音和 'f'音须分别比第二小节里的 'c'音和 'g'音稍低。这样就在和弦上使第六小节 d'一'b'的大六度和 'd'音'的大三度稍为缩小,以合于纯律音程。固然,第二小节的 'c'音稍高,与曲调的向上进行(进入 'e'和 'd'音)有关,第六小节的 'b'稍低,与曲调的向下进行(进入 'e'和 'd'音)有关,但是和弦上纯律音程的要求,确是一种因素。

第148例



① 见拉本:《四重奏演奏问题》, 金文达、毛字宽译。1962年。音乐出版社。



§ 248. 下例同样引自柴科夫斯基的第三 <弦乐四重奏>第一乐章,第29小节至31小节。如果照五度相生律,在中提琴声部,第30小节的'f 音应比第29小节的'g 音稍高。但是拉本提出,这里的'f音要比'g 音稍低。这样就使第29小节第二个和弦——小三和弦'e-'g-'b 中的三音'g 稍高,合于纯律的要求,使第30小节第二个和弦 d'-'f-A-c'中与 d'构成大三度(这里转位为小六度)的'f 音稍低,合于纯律的要求,并使第30小节第一小提琴的'd'不致高于第29小节的'd'音,给主要曲调保持正确的高度。





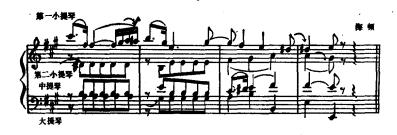
§ 249. 俞丽拿等四位同志总结演奏弦乐四 重奏的 音律问题①时提出,演奏四重奏时,从和声的角度,大音阶的第二音"要高些",第三音和第六音"要略低"。这里所说的"高些"和"略

① 见《弦乐四重奏排练心得》, 俞丽章、丁芷诺、吴菲菲、林应 荣(丁 芷 诺 整理), 《生活、思想、技巧》(第一辑), 1962年, 音乐出版社。

低",就是从纯律的角度要求这些音比十二平均律或五度相生律略高或略低。根据同一的理由,她们提出,在我国的徵调式中,第二音"应略高些",第六音要"略低"。

又提出,同样一类音,当它在曲调进行中与包含在和弦内,在处理音律时应有区别。下例引自海顿(Josef Haydn, 1732—1809)的《云雀》四重奏中第二乐章,记有箭头的各音,由于作为和弦中三音或处于和弦中的导音,"不宜过高"。即第一小节中'd'音作为b一'd一'f—a和弦中的三音,第二小节中'8音作为e—'g—b和弦中的三音,第四小节中'd'音处于'd—'f—a和弦中的导音,都不宜过高。反之,加记公的'a'音(第一小节第一小提琴声部),则由于突出曲调的倾向,"可以较高"。前者,作为和公弦的三音等"不宜过高"(即要求略低),显然是根据纯律,后者,由于突出曲调的倾向"可以较高"(即要求构成五度律小半音〔§55〕),显然是根据五度相生律〔参看§237〕。

#### 第 150 例



再又提出,演奏一个和弦(例如 F 大调的主和弦),和弦的三音是小提琴上不能变动的空弦 a <sup>1</sup> 音时,"这种情况就只能根据 a <sup>1</sup> 弦将 f <sup>1</sup> 音奏得略高些"。这不消说是为了获得纯律的和弦效果。

§ 250. 小提琴和钢琴合奏或小提琴由钢琴伴奏时,情况就 • 244• \$ 250 有不同。这时两种乐器就有互相适应的现象。当然,首先是小提 琴演奏者要适应钢琴的十二平均律。小提琴演奏者如果演奏和弦 时需要合于纯律,就在低方声部作适当的变动,而保持高方声部 与钢琴的十二平均律相一致。

下例是贝多芬(Ludwig van Beethoven, 1770—1827)的 <克罗伊策奏鸣曲 > (Kreutzer Sonata) (作品第47号)小提琴独奏部分。敏感的演奏者演奏第一小节第二个和弦时,会把d 音稍为升高,以合于纯律。这是因为,第二个和弦由 d²— f² 二音构成, f² 是音阶的第六音,按纯律要求,这个 f² 音应当稍低于钢琴上的音,现在演奏者为了保持与钢琴的音律一致,又要合于纯律, 就把低方音 d² 音稍为升高。

第151例



钢琴对小提琴的适应,是赖乐器本身的余韵, ——即击弦出音后的延音。小提琴的演奏并不完全采用十二平均律。钢琴所以能与小提琴奏出的非平均律部分的音相合,是靠钢琴的余韵。这种余韵能与小提琴奏出的音和谐协调, 产生美的效果。钢琴适于作小提琴等的伴奏, 适于与弦乐合奏, 这是原因之一。

管风琴无余韵,所以与弦乐合奏时效果不佳,远不如钢琴。 同理,风琴(指一般小风琴)或手风琴作为小提琴的伴奏或与之合 奏时,效果不佳。

键盘乐器中,钢琴一类乐器应用十二平均律较早〔第七章, §183,第三段],管风琴应用十二平均律较晚〔第七章,§173,最后 一段〕,可能即由于钢琴等具有余韵,易于适应的缘故。

尽管小提琴能与钢琴互相适应,但是音乐创作者写作小提琴和钢琴合奏,或由钢琴伴奏,以及弦乐和钢琴合奏这类作品时,总是尽量避免小提琴等声部与钢琴声部作完整的大音阶或小音阶的齐奏。因为这种齐奏,会使两种乐器在音律上不相 适 应 的 缺陷,暴露出来,而又难于补救。

§ 251. 小提琴等弦乐器上普遍应用"吟音"(vibrato)。吟音就是由原音和另一稍高的音迅速交换而成,即一音产生"波动"的一种演奏方式。从律学研究的角度看来,吟音主要有两方面的特征,一是"波动幅度"的大小,这是属于音的高度方面的;二是"波动速度",即一秒钟内波动多少次。斯莫尔①(Arnold Small)曾就当代九位优秀小提琴家选出他们所演奏的在一定范围内有典范性的曲目(大部分根据唱片),加以测音和统计,得出吟音波动的平均幅度为50音分;即构成吟音的原音和另一稍高的音两者在高度上的差距为50音分(相当四分音);得出吟音波动的平均速度为每秒钟6.5次。

斯莫尔所据以测音的九位优秀小提琴家, ——其中包括着好几位人们熟悉的小提琴家, 他们的姓名和曲目如下:

小提琴家	曲目(作曲者)
•••••	(**********
布什(Adolf Busch)	d 小调奏鸣曲(巴赫)
克莱斯勒(Fritz Kreisler)	8 小调奏鸣曲(巴赫)

① 根据西肖尔的《音乐心理学》中所引用的斯莫尔的有关著述。

梅纽因(Yehudi Menuhin)

C 大调奏鸣曲(巴赫)

≪吉卜赛人»(Tzigane)

(拉韦尔[Ravel])

8 小调奏鸣曲(巴赫)

G 弦曲调(巴赫-威廉

(wilhelmj))

帅德尔(Toscha Seidl)

埃尔曼(Misha Elman)

席该蒂(Joseph Szigeti)

肯德里(Frank Estes

Kendrie)

斯拉特金(Felix Slatkin)

斯莫尔(Arnold Small)

同 上

≪圣母颂>(舒柏特-威廉)

同 上

G 弦曲调(巴赫-威廉)

<圣母颂>(舒柏特-威廉)

根据西肖尔的测算认为,今日小提琴家演奏上吟音波动的平均速度为每秒钟7次,其极限,每秒钟不少于5次,不多于10次。西肖尔的测算与斯莫尔的测算是十分接近的。

§ 252. 吟音除用在小提琴演奏上之外,同样用在中提琴和大提琴演奏上。用在中提琴和大提琴上的吟音,其波动幅度和波动速度,大致与小提琴上的相同。

吟音既用在小提琴等弦乐器的独奏上,也用在弦乐重奏和管弦乐队中同类乐器的合奏上。在重奏和合奏上,小提琴等乐器的吟音,由首席的带领下,使吟音的波动速度等取得一致。

附带地说一下,在管弦乐队中,管乐器较少用吟音。管乐器 只在乐队中作为独奏乐器而出现时,才用吟音。例如,长笛、单 簧管、双簧管、大管和小号等,在乐队中作为独奏而出现时,经 常用吟音。

## 声乐上的音律问题

\$ 253, 声乐上音律的变通性的情况,基本上与小提琴的相同。今天合唱队的训练者,要求合唱队员在唱大音程(例如大二度的全音、大三度、大六度等)时,尽量扩大音程,在唱小音程(例如小二度的半音、小三度、小六度等)时,尽量缩小音程〔参看\$246〕,是普遍的现象;这就必然导致合唱队倾向于五度相生律。如果合唱队在某一处所或段落需要纯律的效果,就必须提出特殊的要求〔参看\$247〕。如果整首合唱曲要求获得纯律的效果,那就得有具体的措施了〔参看第七章, \$177〕。

声乐用钢琴伴奏时,双方的音律上互相适应的情况,大体与小提琴和钢琴的关系相同[参看§250]。

§ 254. 吟音极其广泛地应用在声乐上。比起小提琴一类 弦乐器来,声乐上远为普遍地应用着吟音,无论哪种唱法,都无例外。而且声乐上无所不在地应用着吟音,就连一音滑人它音的滑行过程中也用吟音。唱歌家几乎是不用吟音就无法 唱歌。研究家①就当代优秀的唱歌家二十九人所演唱的歌曲,加以测音和统计,得出吟音波动的平均幅度为96音分(可以说是半音),吟音波动的平均速度为每秒钟6.6次。即声乐上吟音波动的平均幅度,比小提琴上的大一倍(小提琴上的吟音波动的平均幅度为50音分[\$251],而声乐上的则为半音)。但是声乐上吟音波动的平均速度,却与小提琴上的几乎相同(小提琴上吟音波动的平均速度为

① 根据西肖尔的《音乐心理学》所引哈罗尔德·西肖尔(Harold G. Sea-shore)、梅特费塞尔(Milton Metfessel)等人的有关资料。

每秒钟6.5次或7次[\$251])。现在把二十九位唱歌家每一个人的吟音波动的平均幅度和平均速度,按次序(幅度由小到大,速度由慢到快)列表如下。

42 1	联 承	吟音的波动幅度(音分值)
••••	•••••	••••••••••••
麦克	医白(Florence Macheth)(女语	高音)62
布拉	拉斯劳(Sophie Braslau) (女何	氐音)72
德特	特拉齐尼(Luisa Tetrazzini)(5	女高音 <b>)······74</b>
舒曼	も・海恩克(Ernestine Schum	ann-Heink)
<b>(</b> 女	低音)	76
拉香	f斯卡(Hulda Lashanska) (ਤ	女高音 <b>)</b> 86
格丽	所・库契(Amelita Galli-Cur	ci (女高音)······88
西岸	有尔(Helen Seashore) (女高音	音)88
马帮	序纳里 (Giovanni Martinelli	)(男高音)88
贝克	E(Elsie Baker) (女低音)	90
达德	惠芒(Royal Dadmun) (男低音	音)·······9 <b>2</b>
得哥	哥萨(Emilio Eduardo de G	Gorgoza)(男中音)92
卡卢	i索(Enrico Caruso)(男高音	•)94
哈克	瓦特(Karleton Hackett) (男店	§音) ······94
克鲁	中克斯(Richard Crooks)(男	高音)94
朋差	震雷(Rosa Ponselle)(女高音)	96
斯塔	\$克(Herald Stark)(男高音)	96
雷相	持伯格(Elizabeth Rethberg)	(女高音)98
霍	默(Louise Homer)(女低音	·)······102
马	什(Lucy Marsh) (女高音)·	104
251		. 940

	基 里(Beniamino Gigli) (男高音)	10	4
	杰里查 (Maria Jeritza) (女高音) ·······	10	6
	汤普森(Carl Thompson)(男低音)·······	· 10	6
	夏里阿平 (Feodor Chaliapin) (男低音) ··············	10	8
-	塔 利(Marion Talley) (女高音) ·······	· 10	8
	奥尼金 (Sigrid Onegin) (女低音) ····································	· 10	8
	蒂贝特 (Lawrence Tibbett) (男中音)	· 11	0
	得卢卡 (Giuseppe de Luca) (男中音) ····································	•11	6
	克拉夫特(Arthur Kraft)(男高音)	·11	8
	里米尼(Giacomo Rimini) (声部待查)	19	6
	唱歌家 吟音的波动速度(每秒钟次	.数	)
*-	······································	•••	••
	霍 默(女低音)		
	克拉夫特 (男高音)		
	哈克特 (男高音)		
	汤普森 (男低音)	4	
	贝 克(女低音)		
	西肖尔(女高音)		
	达德芒 (男低音)		
	奥尼金 (女低音)		
	里米尼 (声部待査)		
	基 里 (男高音)		
	斯塔克 (男高音)		
	克鲁克斯 (男高音)	· 6.	5
•	250 •	8	254

马 什 (女高音)6.6
布拉斯劳(女低音)
<b>蒂贝特 (</b> 男中音) ····································
塔 利(女高音)6.7
杰里查(女高音)6.8
拉香斯卡(女高音)6.8
德特拉齐尼(女高音)6.8
得卢卡 (男中音)6.8
夏里阿平 (男低音)6.8
朋塞雷(女高音)6.9
马蒂纳里 (男高音)6.9
雷特伯格(女高音)
卡卢索 (男高音)7.1
麦克白 (女高音)7;2
格丽・库契(女高音)
舒曼・海恩克(女低音)7.6
得哥哥萨 (男中音)7.8

在吟音的波动幅度方面,被测验的二十九位唱歌家中,幅度 最小者为62音分,最大者为196音分(相当于平均律全音)。最大 者为最小者的三倍。

从上表看来,吟音无论在波动幅度或波动速度方面,都与歌声的类别没有关系,同时幅度和速度两方面,也没有必然的联系。

## 管弦乐的音律问题

§ 255. 小提琴等弦乐器的音律,侧重于五度相生律而 又接触到十二平均律和纯律[\$246、\$247],这种情况必然带进了管弦乐队。管弦乐中的各种木管乐器,构造上基本上应用十二平均律,但是可以通过不同的指法和吹法(包括嘴唇和气息的调整),把音的高度稍加改变,以便适应它种律制。铜管乐器由于经常应用超吹[第一章, \$10](视乐器构造的不同而异其超吹的音数),易于发生纯律的音,但是在乐队中仍能适应它种律制。

管弦乐是由集合各类乐器而成的综合体,当然不容许各类乐器各行其是,诸律并作。尽管各类乐器各自具有中心的律制,但是它们在音律上都能在一定限度内作适当的"变通",以便适应它种律制。

管弦乐队的指挥者在训练乐队演奏时,发挥乐队在音律上的有利条件,注意调整乐队的音律,始终是指挥者的任务之一。指挥者可以根据乐曲或乐曲段落的性质来决定用某种律制或侧重于某种律制。例如,演奏钢琴协奏曲时,要求乐队适应十二平均律。曲调性很强,而且主要用弦乐器来演奏的乐曲或段落,可以用五度相生律。和声性突出而且主要用铜管乐器来吹奏的乐曲或段落,要求产生纯律效果的和弦。

§ 256. 对于德国作曲家瓦格纳(Richard Wagner, 1813—1883) 的富于 "变化和弦" (altered chord) 和"等音转调" (enharmonic modulation) 的音乐,又对于法国作曲家德彪西 (Claude- Achille Debussy, 1862—1918) 的根据十二平均律

的 "全音音阶" (whole-tone scale) 的作品,要求 乐 队 用 十二平均律来演奏,是很自然的,也是合理的。在贝多芬的作品中遇到等音转调,也会要求用十二平均律来处理。

德国指挥家尼克什(Arthur Nikisch, 1855—1922)指挥演出贝多芬的 《英雄交响曲》时,曾要求对第三乐章("谐谑曲"[scherzo])中段,第235、236小节处用三支圆号吹奏的七和弦[见下例],用自然七度[第四章,§79]吹奏和弦的七音。



上例中,七和弦开始于第三小节第三拍,其七音('d'音)在低音部。

上举的段落,和声性突出而又由易于产生纯律音程的圆号吹出,所以指挥者作了这样的处理,能产生美好的效果。

# 八度近似性

§ 257. 前面我们讲某一种律制、音阶和调式时,总是限于一组(八度)之内,对超过一组,高八度或低八度的那些音,认为与基本一组内的音相同,不给以区别。但是相隔八度(包括两个或更多的八度)的两音,——即处于八度关系的两音,既然在音

① 这里不照圆号的移调记谱法来记谱,而照音的实际高度来记谱。

律的物理方面存在着频率数据成倍或数倍地增减的事实,则其所发之音不可能没有差异。八度关系的两音既有相同的一面,又有差异的一面,它处于近似的状态。所以,八度关系称为"八度近似性"(Oktavenähnlichkeit)。

赫尔姆霍茨[第七章, §186]认为,八度近似性由于高低两音有着共同的倍音所致。

在音乐实践中普遍存在着八度近似性。例如,一首女高音独唱的歌曲由钢琴伴奏演唱,这首歌曲可以不改变伴奏而由男高音演唱。器乐上也有同样的情况,小提琴独奏的乐曲可以不改变钢琴伴奏而移到大提琴上演奏。这时,独唱独奏的高八度或低八度的曲调,在音的高度关系方面,能适应于同一的伴奏,但是曲调由于高低八度的移动,在同一伴奏衬托下,显示出曲调处于较高或较低的音区,从而产生不同的音响效果。

同一曲调在距离较远的高低不同的音区上出现时,可以产生远为不同的音响效果。这是由于,在低音区,一个音的"起音"和"刹音"的运动过程都较为迟缓,不象在高音区一个音的起音和刹音的运动过程较为迅速。下例引自贝多芬的《命运交响曲》第三乐章"谐谑曲"。曲调由于出现在低音区,因此特别在第一、二小节,短音连接出现,其各音的起音和刹音的运动过程都显得迟缓。如果把这段曲调移到高音区演奏,曲调进行的音响效果就显得不同,由迟缓变成敏捷了。

第 153 例



§ 257

音乐中快速的经过句,一般都放在高音区,即由于上述的原因。

§ 258. 下面就和弦方面来观察八度近似性。各种转位和弦园然可以归于同一和弦[第七章, §185],但是,各种转位和弦由于构成和弦的各音所处的高低八度的地位不同,必然影响和弦的音响效果,特别是和弦的低音是什么音(和弦的根音、三音或五音),对和弦的结构起决定性的作用,从而对和弦的音响效果也起决定性的作用。

八度近似性出现在和弦上的时候,还由于高低音区的殊异,使同一和弦产生不同的音响效果。例如,同一 c—e—g 和弦,在低音区奏出,成为 C—E—G 时,与在相隔较远的高音区奏出,成为 c²—e²—g²或 c³—e³—g³时,音响效果就大不相同;前者有糟杂的感觉,后者有明朗的感觉。产生这种不同音响效果的原因是,在高低不同的音区,和弦中各音的排列法,在"疏密关系"上应有所不同。在高音区,和弦中各音可以作密集的排列;而在低音区,和弦中各音须作开离的排列。这种现象与倍音列〔第2例〕的自然排列法有关;倍音列的自然排列法,就是低方音开离,高方音密集。现在的 c—e—g 和弦是—个密集和弦,它适应于高音区,而不适应于低声区。所以在低音区出现这个和弦时,会产生不自然的音响,给人以糟杂的感觉。在和声学,和弦中各音一般要求高方音作密集排列,低方音作开离排列,即根据上述的疏密关系,亦即根据倍音列的自然排列法。

上举的实例,除表明八度近似性的存在之外,并表明八度近似性由于高低音区的距离拉远,可以使近似性中的相同成份减少,同时差异成份增多。应当注意的是,这种不同程度的八度近似性

在人们心理上所引起的各种感觉,是依凭于客观的物理基础的。

## 我国民族音乐的律制问题

§ 259. 我国今天的音乐,出于移调和转调等方面的需要,因而有采用十二平均律为中心的趋向。这种趋向不仅有利于我国民族音乐的提高和发展,而且有助于我国音乐与外国音乐的交流。

有人认为五度相生律是我国传统的律制,应予保存,并提出 实例说,在钢琴上弹奏戏曲,风格完全不同。著者认为,十二平 均律是能够适应我国民族音乐风格的,钢琴上弹奏戏曲,风格所 以不同,主要由于乐器构造的关系(虽然钢琴这乐器仍能表现民 族风格),而不是律制的问题。今天的琵琶,在乐器制作(相和品 的定位)上采用十二平均律,但是并未影响民族风格。因为琵琶 采用十二平均律为标准,并不意味着拒绝五度相生律 和 纯 律 的 "加味"。琵琶弹奏时,由于左手按弦的力量可以增减,因此能够 稍微变动音高,使之适应于它种律制。其它定音乐器,如筝,也 有类似的情况。即这类定音乐器,在十二平均律的基础上有适应 它种律制的可能。

由于采用十二平均律,会不会导致五度相生律的衰亡? 音乐 实践证明,迄今为止,没有迹象表明这种情况的可能发生〔参看 本章, §243〕。

目前在民族音乐律制上比较突出的问题,是中立音问题。在 兼用民族乐器和小提琴等乐器的"混合乐队"里,两类乐器在中 立四度和中立七度等的处理上,往往各行其是,造成乐队在音的 高度方面显著不协调的现象。解决这个问题,主要看所演奏的乐曲的性质;如果在所演奏的乐曲,中立音是主要的特点,去掉了中立音,就有损于民族风格,那么整个乐队中不管哪类乐器,都应当按中立音的高度来演奏。如果乐队中有钢琴之类用十二平均律调音而又无法变动高度的定音乐器,则比较困难。这时也许可以由作曲者或编曲者在配器上加以调整,使中立音仅出现在不定音乐器上,而不出现在定音乐器上。如果是钢琴之类定音乐器的独奏,那就只有把中立音按其偏高或偏低的程度,纳入一般升降音的范围之内了。

\$ 260. 民族音乐的音律方面的研究,是民族音乐研究 中重要的一环。目前这方面的研究工作,还没有得到应有的开展。利用现代先进的测音技术,参考外国的测算方法〔看第九章,\$215、\$225; 本章,\$244、\$246、\$251、\$254〕,对我国各族人民的民族民间音乐和戏曲音乐等进行广泛的音律测算和律制 核 定,例如,对七弦琴等古代乐器演奏上律制的测定和研究,对戏曲音乐的调式结构的测定,又如对各方面的演奏演唱者的演出进行音律分析,得出我国民族音乐中装饰音、装饰滑音和吟音等的规律,等等,都是今天律学研究的重要的任务。完成好这项任务,对进一步推动我国民族音乐向前发展,将起一定的作用。

# 附录一 音分值和频率对照表

### 说 明

- 1. 本表以十二平均律为标准,但可以查出任何律制的任何 音,既可以从音分查出频率,也可以从频率查出音分。
- 2. 本表在 c¹ 音(中央 C音) 至 c² 音的一组内, 从 1 至 1200 音分,顺次列出相应的频率。超过 c¹—c² 音的范围, 较高一组 (c²音以上) 的各音的频率,除以 2 ,较低一组 (c¹音以下) 的各音的频率,乘以 2 ,即得符合本表的频率。
- 3. 欲根据频率, 求音阶或调式中各音的音分值时, 其计算法见正文§44、§45。

### 音分值和频率对照表(一)

0—100			100-	- 200			200-	-300	
(¢¹)		( <u>'</u> c	')		(q,)				
0 261,63 50	269, 29	100	277, 18	150	285, 30	200	293,66	250	302, 27
1 261.78 51	269, 45	101	277.34	15 <b>1</b>	285, 47	201	293,83	251	302, 44
2 261.93 52	269,60	102	277.50	152	285, 63		294.00	252	302, 62
3 262,08 53	269.76	103	277.66	153	285,80	203	294.17	253	302, 79
4 262,23 54	269, 91	104	277.82	154	285, 96	204	294.34	254	302, 97
5 262.38 55	270.07	105	277.98	155	286,13	205	294.51	255	303, 14
6 262,53 56	270.23	106	278.14	156	286.30	206	294.68	256	303, 32
7 262 69 57	270.38	107	278.31	157	286.46	207	294.85	257 258	303.49
8 262.84 58 9 262.99 59	270, 54 270, 70	108 109	278.47 278.63	158 159	286.63 286.79	208 209	295.02 295.20	259	303, 67 303, 85
1 202.00	2.0.79	100	210.00	100	200.10	200	200.20		400.00
10 263.14 60	<b>270,</b> 85	110	278.79	160	286.96	210	295.37	260	304, 02
11 263, 29 61	271.01	111	278.95	161	287, 12	211	295.54	261	304, 20
12 263, 45 62	271.16	112	279, 11	162	287, 29	212	295,71	262	304.37
13 263,60 63 14 263,75 64	271, 32 271, 48	113 114	279, 27 279, 43	163 164	287, 46 287, 62	213 214	295,88 296,05	263 264	304, 55 304, 72
1 1			ì				- 1		
15 263, 90 65	271.64	115	279.59	165	287.79	215	296.22	265	
16 264.05 66 17 264.21 67	271, 79 271, 95	116 117	279.76 279.92	166 167	287, 95 288, 12	216 217	296,39 296,56	266 267	305, 08 305, 25
18 264.36 68	272, 11	118	280.08	168	288, 29	218	296.73	268	305, 48
19 264.51 69	272, 26		280, 24	169	288, 45		296, 91	269	305, 61
1									
20 264.67 70	272, 42	120	280, 40	170	288, 62	220	297.08	270	305.78
21 264.82 71 22 264.97 72	272, 58 272, 74	121 122	280, 57 280, 73	17 1 17 2	288, 79 288, 95	221 222	297, 25 297, 42	271 272	305.96 306.14
23 265 12 73	272, 89	123	280, 73	173	289, 12	223	297.59	273	306, 31
24 265 28 74		124	281.05	174	289. 29		297.76	274	306. 49
25 265, 43 75	273, 21	125	281. 21	175	289, 45	225	297, 94	275	306, 67
26 265.58 76	273, 37	126	281.38	176	289,62		298, 11	276	306.84
27 265.74 77	273, 52	127	281,54	177	289, 79		298, 28	277	807.02
28 265.89 78	273,68	128	281.70	178	289,96		298, 45	278	807.20
29 266.04 79	273, 84	129	281.86	179	290,12	229	298, 63	279	807, 38
30 266, 20 80	274, 00	130	282, 03	180	290, 29	230	298, 80	280	807.55
31 266, 35 81	274.16		282, 19	181	290, 46		298, 97	281	307.78
32 266.51 82	274, 32	132	282, 35	182	290,63	232	299, 14	282	307.91
33 266.66 83	274.47	133	282, 52	183	290,80		299, 32	283	308, 09
34 266, 81 84	274, 63	134	282, 68	184	290.96		299.49	284	308, 26
35 266,97 85	274, 79	135	282.84	185	291.13		299, 66	285	308, 44
36 267.12 86	274.95	136	283. 01	186	291.30	236	299, 84	286	308, 62
37 267. 28 87 38 267. 43 88	275, 11 275, 27	137 138	283, 17 283, 33	187 188	291.47 291.64	237 238	300,01 300,18	287 288	308, 80 308, 98
39 267.59 89	275, 43		283.50	189	291.80		300.36	289	309.16
40 267.74 90	275, 59	140	283, 66	190	291.97	240	300,53	290	309, 34
41 267.90 91	275.75	141	283.83	191	292.14		300,70	291	309, 51
42 268.05 92	275, 90	142	283, 99	192	292.31	242	300,88	29 <b>2</b>	309, 69
43 268. 21 93	276, 06	143	284, 15	193	292.48		301.05	293	309.87
44 268, 36 94	276, 22	144	284.32	194	292, 65	244	301,22	294	810,05
45 268.52 95	276.38	145	284, 48	195	292, 82	245	301,40	295	310, 28
46 268.67 96 47 268.83 97	276, 54 276, 70	146 147	284.65 284.81	196 197	292.99 293.16	246 247	301.57	296 297	310.41
48 268, 98 98	276.76	148	284, 98	198	293, 16		301,75 301,92	297 298	310, 59 310, 77
49 269.14 99	277.02		285, 14	199	293.50		302,10	299	310, 95
50 269, 29 100	277, 18		285, 30	200	293, 66		302, 27	300	311,13

#### 音分值和频率对照表(二)

			-								إنسسب
	300-	100	*		400-	-500			500-	-600	
	('d') (e')				(f <sup>1</sup> )						
300	311.13	350	320, 24	400	220 62	450	339, 29	500	349, 23	550	359, 46
301		351	320, 43	401	329, 63 329, 82	451	339, 48	501	349, 23	551	359, 40
302		352	320, 61	402	330, 01	452	339, 68	502	349, 63		359, 88
303	311, 67	353	320, 80	403	330, 20	453	339, 87	503	349, 83	553	360.08
304		354	320.98	404	330, 39	454	340.07	504	350, 04	554	380, 29
305	312, 03	355	321.17	405	330,58	455	340, 27	505	350, 24	555	360, 50
306	312, 21	356	321, 36	406	330,77	456	340, 46	506	350, 44	556	380, 71
307	312, 39	357	321,54	407	330.96	457	340,66	507	350, 64		360, 92
308	312, 57	358	321,73		331, 15		340, 86		350, 85	558	361, 13
309	312.75	359	321.91	409	331.35	459	341,05	509	351,05	559	361, 33
310	312, 93	360	322, 10		331,54	460	341.25		351, 25	560	381, 54
311	313, 11	361	322, 28		331,73	461	341.45		351, 45	561	361.75
312	313, 29	362	322, 47	412	331.92	462	341.65		351,66	562	361, 96
313	313, 47	363	322, 66		332, 11	463	341,84		351, 86	563	362, 17
314	313, 65	364	322, 84	414	332, 30	464	342,04	ł	352, 06	564	362, 38
315	313.83	365	323, 03		332,50	465	342, 24		352, 27	565 566	362.59
316 317	314.02	366 367	323, 22 323, 40		332, 69 332, 88	466 467	342, 44		352, 47 352, 67	566 567	362, 80
318	314. 20 314. 38	368	323, 59		333.07	468	342, 63 342, 83		352, 88	568	363.01
319	314, 56	369	323.78		333. 27	469	343.03		353, 08	569	363, 22 363, 43
İ							1				ļ
320	314.74	370	323,96		833, 46	470	343, 23		353, 29	570	363, 64
321	314. 92	371	324, 15	421	333, 65	471	343, 43		353, 49	57 1	363, 85
322	315, 11	372	324.34	422	333.84		343, 63		353, 69	572	364, 06
323 324	315, 29 315, 47	373 374	324, 53 324, 71	423 424	334.04 334.23	473 474	343, 82 344, 02		353, 90 354, 10	573 574	364, 27
1	1				i			!			364, 48
325 326	315, 65	375	324.90		334, 42	475	344. 22		354, 31	575 576	384, 69
327	315, 83 316, 02	376 377	325, 09 325, 28		334, 62 334, 81	476 477	344, 42		354,51	576 577	364.90
328	316. 20	378	325, 47	428	335,00	478	344, 62 344, 82		354,72 354,92	57 8	365, 11 365, 32
329	316.38	379	325, 65		335, 20		345.02		355, 13	579	365.53
330	316, 57	380	325, 84	430	335, 39	480	345, 22	530	355, 33	580	365, 74
331	316, 75	381	326, 03		335, 58	481	345, 42	531	355, 54	581	385, 96
332	316, 93	382	326, 22		335.78	482	345, 62		355,74	582	366, 17
333	317.11	383	826, 41	433	335.97	483	345, 82	533	355, 95	583	366. 38
334	317, 30	384	326,60	434	336, 17	484	346.02	534	356, 15	584	366, 59
335	317, 48	385	326.78	435	336.36	485	346, 22	535	356, 36	585	366.80
336	317,66	386	326, 97	436	336, 55	486	346, 42	536	356, 57	586	367.01
337	317.85	387	327, 16		336, 75	487	346, 62	537	356,77		367, 23
338	318.03	388	327, 35		336.94	488	346, 82		356, 98	588	367. 44
339	318. 22	389	327.54	439	337.14	489	347.02	<b>5</b> 39	357, 18	589	367, 65
340	318.40	390	327.73		337.33	490	347. 22		357, 39	590	367.86
341	318.58	391	327.92		337.53	491	347, 42		357.60	591	368.08
342	318.77	392 393	328, 11	442	337.72	492 493	347.62		357, 80	592	358, 29
343 344	318, 95 319, 14	394	328.30 328.49		337.92 338.11		347.82 348.02	543 544	358, 01 358, 22	593 594	368, 50 368, 71
345	319, 32	395	328, 68		338, 31	195	348, 22	545	358, 42	595	368, 93
346	319.50	396	328, 87	446	338.50	196	348, 42	546	358, 63	596	369, 14
347	319.69	397	329.06		338.70	497	348, 62	547	358, 84	597	366, 35
348	3, 9, 87	398	<b>32</b> 9, 25	448	338, 89	498	348, 83	548	359, 05	598	369.57
349	320, 06	399	329, 44	449	339, 09	499	349,03		359, 25	599	369.78
350	320, 24	400	329,63		339, 29	500	349, 23		359, 46	600	369, 99

#### 音分值和频率对照表 (三)

	600-7	00		,	700-	800			800-9	00	
	('f')	)			(g¹	)			('g'	)	
600	369.99 6	50 3	380, 84	700	392.00	750	403, 48	800	415, 30	350 4	27.47
					392. 22	751	403, 71				27.72
					392, 45	752	403, 95		415, 78	952 4	27.97
					392,68	753	404, 18		416, 02	953 4	28. 22
					392.90	754	404. 42	804	416, 27	954 4	128. 46
1	1			705	393, 13	755	404,65	805	416, 51	955 4	28.71
					393, 36	756	404, 88				28, 96
606 607				707	393, 58	757	405, 12				129, 21
608				708	393, 81	758	405, 35		417. 23	858 4	129, 45
609				709	394.04	759	405, 58	809		859	129, 70
1,00	3. 2. 3.							1			
610	372.14	660	383,04	7 10	394.27	760	405.82				129.95
611	372.35			711	394. 49	761	406.0				430, 20 430, 45
612				712	394,72	762	406. 29				430.70
613				713	394. 95	763	406.5				430.94
614	373.00	664	383,93	714	395.18	764					ŧ
615	373, 21	665	384, 15	715	395.41	765	406.9				431, 19
616		666	384.37	716	395, 64	766	407.2		419. 16		431.44
617	373,65	667		717	395, 86		407.4				431, 69 431, 94
618		668	384.82	718	396, 09		407.7		419, <b>6</b> 5 419, <b>89</b>	869	432. 19
619	374.08	669	385,04	719	396. 32	769	407.9	3 819	*10.00	000	102.17
1	22.00	070	385, 26	720	396, 55	770	408.1	7 820	420, 13	87Q	432.44
620		670 671	385, 48	721	396.78		408. 4		420, 37	871	432, 69
621	374, 51 374, 73	672	385.71	722	397, 01		408.6		420, 62	872	432, 94
623	374.94	673	385.93	723	397, 24		408.8		420, 86	873	433, 19
624	375, 16	674	386, 15	724	397.47		409.1	1 824	421.10	87 <b>4</b>	433, 44
1			386, 38	725	397.70	775	409.3	5 825	421.35	875	433, 69
625	375, 38 375, 59	675 676	386, 60	726	397. 93		409.5		421, 59	876	433, 94
626	375.81	677	386, 82	727	398. 16		409.8		421.83	877	434, 19
628	376, 03	678	387, 05	728	398, 39		410.0		422, 08		434, 44
629	376, 24	679	387, 27	729	398. 62	779	410,3	829	422, 32	879	434, 70
1 *-											40.4 05
630	376.46	680	387, 49		398. 8				422, 56		434. 95
631	376, 68	681	387.72		399.00				422. 81 423. 05	881 882	435, 20 435, 45
632	376.90		387, 94		399.3				423, 30	883	435, 70
633	377.11	683	388.17		399.5 399.7				423, 54	884	435, 95
634	377.33		388.39	ł .		1					436, 20
635	377.55		388.61		400,0				423, 79 424, 03		436, 46
636	377.77	686	388.84		400.2				424. 28		436, 71
637	377.99		389,06		400,4				424, 52		436, 96
638	378.21		389, 29 389, 51		400.0				424, 77		437, 21
639	378.42	1 003	003. 01	1 ' "		1					
640	378, 64	690	389.74	740	401.1						437, 47
641			389.96		401.3	9 79					437.72
642			390, 19	742							437.97
643	379,30		390. 4								438, 22 438, 48
644	<b>379.</b> 52	694	390.6	4 744	402.0	9 79	413,			Į	
645	379.74	695	390.80								438, 73
646		696	391.0	746							438, 98
647	380.18	697	391.3								439, 24 439, 49
648											439.75
649											440.00
650	380.8	4 700	392,0	OJ 750	403,4	8 80	0 415,	30 850	427.47	300	440,00

#### 音分值和頻率对照表(四)

		T			1			
900—1000		20	1000	-1100		1100—1200		
(a1)			(1	(a1)		( <b>§</b> ¹)		
900	440.00 95	0 452.89	1000 466.16	1050 479.8	21100	193, 88 1150	508.36	
901	440, 25 95					194, 17 1151	508,65	
902 903	440, 51 95					194, 45 1152	508, 94	
904	440.76 95 441.02 95					194. 74 1 153 195. 03 1 154	509. 24 509. 53	
905	441. 27 95	5 454.20	1005 467.51	1055 481.2	1 1105 4	195, 31 1 155	509.83	
906	441.53 95	6 454.47				95, 60 1 156	510, 12	
907	441.78 95					195, 88 1 157	510.41	
908	442.04 95					96, 17 1158	510, 71	
909	442.29 95	9 455,25	1009 468.59	1059 482.3	21109 4	196, 46 1 159	511,00	
910	442.55 96					96, 74 1160	511.30	
911	442.80 96 443.06 96					197, 03 1161	511.60	
913	443, 32 96					197, 32 1162 197, 61 1163	511, 89 512, 19	
914	443, 57 96					97, 89 1164	512.19	
915	443, 83 96				4	98, 18 1165	512, 78	
916	444.09 96		1016 470.49			98, 47 1166	513.08	
917	444.34 96					198.76 1167	513.37	
918	444.60 96					99.05 1168	513, 67	
919	444. 86 96	9 457.89	1019 471.31	1069 485.1	21119 4	199, 33 1169	513.97	
920	445, 11 97					199.62 1170	514.26	
921	445.37 97					99, 91 1171	514.56	
922 923	445, 63 97 445, 88 97					00, 20 1172 00, 49 1173	514.86	
924	446. 14 97					00. 49 1173	515, 15 515, 45	
925	446. 40 97	5 459,48	1025 472.94	1075 486.8	01125 5	01.07 1175	515, 75	
926	446, 66 97					01.36 1176	516,05	
927	446.92 97					01.65 1177	516.35	
928	447. 17 97					01.94 1178	516.64	
929	447.43 97	9 460.54	1029 474.04	1079 487.9	31129 5	02.23 1179	516, 94	
930	447.69 98					02.52 1180	517, 24	
931	447. 95 '98					02.81 1181	517, 54	
932 933	448, 21 98 448, 47 98					03.101182	517.84 518.14	
934	448, 73 98					03.68 1184	518.44	
935	448.99 98	5 462, 14	1035 475.68	1085 489.6	21135 5	03.97 1185	518,74	
936	449.25 98	6 462,41	1036 475, <b>96</b>	1086 489.9	1 1 1 3 6 5	04. 26 1186	519.04	
937	449.50 98	7 462,68	1 <i>037</i> 476, 2 <b>3</b>	1087 490.1		04.55 1187	519.34	
938	449.76 98					04.84 1188	519.64	
939	450.02 98			1069 490,7	61139 5	05.14 1189	519, 94	
940	450.28 99					05. 43 1190	520, 24	
941	450.54 99					05.72 1191	520.54	
942	450.81 99 451.07 99					06. 01 1192 06. 30 1193	520.84 521.14	
944	451.33 99					06.60 1194	521. 44	
945	451, 59 99			1095 492.4	61145 5	06. 89 1195	521.74	
946	451.85 99					07. 18 1 196	522, 04	
947	452. 11 99					07. 48 1 197	522, 35	
948 949	452. 37 993 452. 63 993					07,77 1198 08,06 1199	522.65	
950	452, 89 1000					08. 36 1200	522, 95 523, 25	
	200 03 100	- 300° TOL	410.04	***** 430.0	OLITOR O	00.001100	V4V. 4V	

# 附录二 音律表

音 分	頻率比	名称
, 1.95(或2)	32805 : 32768	斯基斯马、小微音差[§190(1)]。
3.51		京房音差[§132]。
8. I	15625 : 15552	克来斯马、大徽音差[\$190(2)]。
22	81 : 80	普通音差、协主音音差[§71]。
22.64		五十三平均律的一律[§180]。
24	531441:524288 (或81.0915:80)	最大音差[§56]。
27.91		四十三平均律的一律[§189]。
29.27		四十一平均律的一律[§189]。
30	3125 : 3072	小第西斯[§167]。
38.71		三十一平均律的一律、第西斯[§180]。
41	128 : 125	大第西斯[\$167]。
45		四分音[§160]。
50	246 : 239	二十四平均律的一律[\$202]。
54.5		印度二十二平均律的一律、斯鲁蒂[§202]。
63	28 * 27	古代希腊近似三分音[§160]•
63, 15	• '	十九平均律的一律[§180]。
71	25 : 24	纯律小半音[§91]。
90	256 : 243	五度律小半音、林马半音[§55]。
100	89 : 4	十二平均律半音[§101]。
105	17 : 16	十七倍音[§7]。
112	16:15	<b>纯律大半音[ \$73]。</b>

音 分	頻 率 比	名称
114	2187 : 2048	五度律大半音、阿波托美半音〔§60〕。
117	183 : 171	中庸全音律半音[§173]。
143	88 # 81	四分之三音[\$198]。
150		二十四平均律四分之三音[\$202]。
151	12:11	四分之三音[\$198]。
171,4		七平均律的一律[\$225, §228]。
182	10:9	小全音[§73]。
193	57 : 51	中庸全音[\$173]。
200	449 - 440	十二平均律全音[\$101]。
204	9 : 8	大全音[§54]。
240		五平均律的一律[\$215]。
275	75 = 64	<b>纯律增二度〔§83〕。</b>
294	32:27	五度律小三度[\$57]。
298	19:16	十九倍音[§84]。
300	44 : 37	十二平均律小三度、增二度[\$101]。
303		波斯中指 e 音[§196]•
316	6 : 5	<b>纯律小三度[§81]。</b>
318	19683 : 16384	五度律增二度[§58]。
347	11 : 9	中立三度[\$211]。
3 <b>55</b> .	27 : 22	中立三度[§198]。
386	5 • 4	纯律大三度[§69]。
400	63 * 50	十二平均律大三度[\$101]。
408	81 : 64	五度律大三度[§54]。
471	21 : 16	以 c 音为主音时, g 音上的自然七度[\$79]。
476	320 : 243	纯律狭四度[\$218]。
498	4 : 3	纯四度[§54]。
500	303 - 227	十二平均律纯四度[§101]。

音 分	頻 率 比	名称
520	27 : 20	纯律宽四度[ \$76 ]。
522	2187 : 1618	五度律增三度[§67]。
551	11 * 8 .	中立四度、十一倍音[\$212、\$78]。
588	1024 : 729	五度律减五度[§56]。
590	45 : 32	纯律增四度[§75]。
600	140 : 99	十二平均律增四度、减五度[§101]。
610	64 * 45	纯律减五度[\$75]。
612	729 : 512	五度律增四度[\$56]。
680	40 : 27	<b>纯律狭五度〔§76〕。</b>
697	299 : 200	中庸全音律纯五度[§172]。
700	433:289 (或2.9966:2)	十二平均律纯五度[§96]。
702	3 : 2	纯五度[§54]。
792	128 : 81	五度律小六度[\$58]。
794	405 : 256	纯律增五度[§83]。
800 /	100 • 63	十二平均律增五度、小六度[§101]。
801		波斯中指 a 音[§197]。
814	8 * 5	纯律小六度[§81]。
816	6561 : 4096	五度律增五度[\$58]。
841	13 * 8	十三倍音[\$78]。
853	18 * 11	中立六度[\$198]。
882	32768 : 19683	五度律减七度[\$58]。
884	5 : 3	<b>纯律大六度[§69]。</b>
900	37 : 22	十二平均律大六度[\$101]。
906	27 : 16	五度律大六度[§54]。
925	128 : 75	纯律减七度[§83]。
969	7 = 4	自然七度、和声七度[§79, §189]。

音 分	頻 率 比	名	称
996	16:9	五度律小七度[§57, §67]。	
1000	98 : 55	十二平均律小七度[§101]。	
1018	9 : 5	纯律小七度[§81]。	
1020	59049 : 32768	五度律增六度[§67]。	
1049	/	中立七度[§211]。	
1088	15 + 8	纯律大七度[§69]。	
1100	168 : 89	十二平均律大七度[§101]。	
1110	243 : 128	五度律大七度[§54]。	
1200	2:1	八度[§54]。	
1224	531441 : 524288	五度律增七度[\$63,注]。	

# 附录三 本书专名、人名

# 索引

· a	
阿波托美半音(apotome)	[\$51]。
阿尔卑斯号 fa 音(alphorn fa)	(§212) <sub>o</sub>
阿尔·法拉比(Al··Fárābī)	(\$200).
阿开塔斯(Archytas)	[\$160,\$161]。
阿拉伯音阶体系	[§194]。
阿里斯托塞诺斯(Aristoxenos)	[\$161]。
埃尔曼 (Misha Elman)	[\$251].
埃拉托斯塞尼斯(Eratosthenes)	. { <b>§</b> 161}•
埃利斯(Alexander Ellis)	[\$42,\$215,\$225].
爱奥尼亚调式 (Ionian mode)	[\$162].
爱尔萨兹 (Elsasz)	. [\$180].
爱因斯坦(Alfred Einstein)	[\$237].
爱 兹 (Carl Eitz)	{§40} <sub>•</sub>
奥丁同 (Walter de Odington)	[\$166].
奧尼金 (Sigrid Onegin)	<b>(§254)</b>
奧夏克调式 (Oschāq)	( <b>§</b> 201),
b	
八度近似性 (Oktavenähnlichkeit)	[ <b>§</b> 257—258]
八度值 (Oktavenmass)	[§40] <sub>6</sub>
八分音	( <b>§</b> 193) <sub>0</sub>
巴 赫 (Johann Sebastian Bach)	[\$184].
巴拉福 (balafo)	(§236) <sub>0</sub>
巴塔拉 (Pattalà)	[\$227]。
般调式	[\$207]。
	• 267 •

4	
4	
4	
*	

般 赌	[ <b>§</b> 148].
般贍调式	[ <b>§</b> 208] <b>。</b>
板振动	[\$5,\$14].
棒振动	[§5,§15]。
贝多芬 (Ludwig van Beethoven)	[ <b>§</b> 250, <b>§</b> 256]。
贝 克(Elsie Baker)	( <b>§</b> 254).
倍 音 (overtone)	[\$7,\$8,\$15,\$186]。
倍音列 (overtone series)	
比较音乐学(comparative musicology)	[\$12注]。
毕达哥拉斯 (Pythagoras)	[\$50,\$158,\$161]。
毕送哥拉斯乐制	[ <b>§</b> 50]。
闭 管 (stopped pipe)	[ §11].
编《磬	[\$111,\$130]。
编钟	[\$111,\$125,\$128,\$130].
变化半音 (chromatic semitone)	{ <b>§</b> 63 ].
变化四音列 (chromatic tetrachord)	[§160].
波斯中指	[§197]。
拨弦古钢琴 (harpsichord)	(§165) <b>,</b>
博赞克特 (R. H. M. Bosanquet)	(§189) <b>.</b>
不协和音程	[\$107]。
布 尔 (John Bull)	(§183) <b>.</b>
布拉斯劳 (Sophie Braslau)	[§354]。
布 什 (Adolf Busch)	[§251]。
布西里克调式 (busiliq)	[§201].
布秀尔调式 (buzurk)	[\$201]。
布左尼 (Ferruccio Benvenuto Busoni)	[§193] <b>.</b>
c	
蔡元定	[\$139,\$146].
侧音学 (messel theory)	[\$195]。
差里诺 (Giosephe Zarlino)	[\$169,\$175,\$183]。
差 音 (differential tone)	[\$187—188].
柴科夫斯基 (Peter Tchaikowsky)	[\$247-248]
超长波	[§4].
超 吹 (over-blowing)	[§8].
• 268 •	~

超短波	(§4).
潮州音乐	[ §228]。
纯八度 (perfect octave)	[\$54,\$67,\$96]。
纯 律 (pure temperament)	[第四章、\$176、\$190]。
纯律大半音	[§73、 <b>§</b> 96]。
纯律大六度	[§96]。
<b>纯律大七</b> 度	(§96).
纯律大三度	[\$47,\$95]。
纯律大音阶	[\$70,\$73]。
<b>纯律减七度</b>	, [ <b>§</b> 96]。
纯律减五度	[§96]。
纯律小六度	[§96]。
纯律小七度	[§96]。
纯律小三度	[\$47,\$96]。
<b>纯律小者</b> 阶	[§81].
纯律音系网	[§86].
纯律增二度	[\$96].
纯律增四度	[\$96].
纯律增五度	[§96]。
纯四度 (perfect fourth)	[\$54,\$67,\$96].
纯五度 (perfect fifth)	[\$54,\$67,\$96]。
纯 音 (pure tone)	[§15]。
纯正律	(§77) <b>.</b>
đ	
达德芒 (Royal Dadmun)	
と掲式 (dhaivati)	[\$254],
大半音(major semitone)	[\$207],
大第西斯	[\$47,\$90,\$96]。
·大···································	[\$92\\$167] <sub>0</sub>
大全音 (major tone)	[\$112],
大微音差 (semicomma majeur)	[\$54,\$55,\$96].
大音阶 (major scale)	[\$190]
单音体 (monophony)	[\$52,\$70,\$104].
得哥哥萨 (Emilio Eduardo de Gorgoza)	[\$97,\$116]。
, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	[\$254]。
	• 269 •

得卢卡 (Giuseppe de Luca)	[\$254]。
、 懲彪西 (Claude-Achille Debussy)	[\$256]。
德特拉齐尼 (Luisa Tetrazzini)	[\$254].
等比律	[\$98]。
等 音(enharmonic)	[\$63,\$108]。
等音变换 (enharmonic change)	<b>(§2</b> 38).
等音转调 (enharmonic modulation)	[\$256]。
<b>**</b>	[ <b>§</b> 130].
笛卡儿 (René Descartes)	(§185)。
第一国际高度	[\$17]。
蒂贝特 (Lawrence Tibett)	[\$254].
蒂第莫斯 (Didymos)	[\$161]。
蒂氏音差 (Didymic comma)	[\$161]。
调 首	[§112]。
定形斯连德罗	[§215]。
都节	[\$233]。
<b>斯</b> 。金	[\$229]。
对 数 (logarithm)	[\$33-34,\$44]。
对数值 (logarithmic value)	-[\$37]。
多里亚调式 (dorian mode)	[\$159,\$162]。
e	
二十二律	[ <b>§</b> 203—206]。
二十二平均律	[\$204].
二十四平均律	[\$202].
f	
泛 音 (overtone)	<b>〔§</b> 7、 <b>§</b> 9注〕。
方 响	[\$130]。
分 音 (partial)	[\$7]0
夫赛尼调式 (husén])	[\$201]
弗朗科 (Franko von Köln)	[ <b>§</b> 166].
弗里季亚调式 (Phrygian mode)	[\$159,\$162] <sub>o</sub>
<b>凫 鐼</b>	[\$229]。
复合音 (compound tone)	[§6]。
• 270 •	,

复音体 (Polyphony)	(§97)。
腹 点	[\$6].
96	
, <b>6</b>	
嘎尔布佐夫 (H, A, Гарбузов)	〔§12注〕。
甘美兰·坻罗格 (gamělan Pélog)	[\$214]。
甘美兰·萨连德罗(gamělan salendro)	[\$214-215]。
甘美兰·斯连德罗 (gamělan slendro)	[\$214-219]。
甘美兰宋队	[\$214].
高精风琴 (arciorgano)	[\$167]。
格调式 (gāndharī)	[\$207]。
格拉玛 (grāma)	[\$204]。
格丽·库契 (Amelita Galli-Curci)	[\$254]。
格 林 (Paul C. Green)	[\$244]。
格音阶 (gandhāra- grāma)	[\$209]。
隔八相生	[\$122]。
姑 洗	[\$112]。
古提琴 (viol)	[\$165,\$179]。
古音阶	(\$143).
<b>鼓</b>	(\$111).
管	[\$111].
管风琴 (organ)	[\$165]。
管口校正 (mouth correction)	[\$12,\$140,\$151,\$153],
管子(管仲)	(§114,§118) <sub>0</sub>
归 迪(Scipione Guidi)	[\$244].
国际标准高度	[§17]。
<b>h</b>	
哈克特 (Karleton Hackett)	[\$254].
海 顿 (Josef Haydn)	[\$249].
豪酱特曼 (Moritz Hauptmann)	[\$78,\$242].
合成音 (resultant tone)	[\$187].
合 音(summational tone)	[\$187—188].
何承天	(§135).
和声七度 (harmonic seventh)	[§189].
•	• 271 •

to to the Art Art Channel Control	
和声小音阶 (harmonic minor)	[\$58]。
赫尔姆雅茨 (Hermann Helmholtz)	[ <b>§18</b> 6, <b>§</b> 190, <b>§</b> 24 <b>2</b> ]。
赫 兹 (Hz)	(§4)。
赫 兹 (Heinrich Rudolph Hertz)	〔§4注〕。
湖南花鼓戏	[\$234]。
<b>黄翔鵬</b>	【第128注、第142注】。
黄金	[\$112,\$123,\$125].
黄 鐘(日文汉字)	[\$229,\$231].
黄钟宫调	[\$112,\$123,\$125].
惠更斯 (Christian Huygens)	(\$180).
混合里第亚调式 (mixolydian mode)	[\$162],
霍 默 (Louise Homer)	[\$254]。
霍恩博斯特尔 (Erich von Hornbostel)	[\$221]。
击弦古翎琴 (clavichord)	[ <b>§</b> 165]。
鸡识	( <b>§</b> 148)。
鸡识调式	[ <b>§2</b> 08]。
鸡识-玛调式	[ <b>§</b> 20 <b>8</b> ]。
基 里 (Beniamino Gigli)	[ <b>\$</b> 254]。
基 音(fundamental tone)	[§7]。
吉他琴 (guitar)	(§183).
夹 钟	[\$112]。
姜·夔	[\$212\\$228\\$234] <sub>o</sub>
姜 菱(白石)	[\$141].
焦延寿	(§132).
杰里查 (Maria Jeritza)	[\$254]。
结 点	[\$6]。
<b>树源次郎</b>	
京。房	( <b>§</b> 22 <b>3</b> ]. <b>(§132</b> —13 <b>3</b> ].
京房音差	
京・謅	[§132]。 [§227]
九平均律	( <b>§2</b> 27)。
,	[\$213].

<del></del>	
卡里罗 (Julian Carrillo)	[ <b>§</b> 193]。
卡卢索 (Enrico Caruso)	[\$254].
开 管 (open pipe)	[§11]。
苛斯马蒂那塔 (Kesmadinatha)	[\$217]。
克拉夫特 (Arthur Kraft)	[\$254]。
克莱斯勒 (Fritz Kreisler)	[\$251]。
克来斯马 (kleisma)	[\$190]。
克来斯马变换	[ <b>§</b> 190].
克鲁克斯 (Richard Crooks)	[\$254]。
克罗伊策 (Rodolphe Kreutzer)	[\$244]。
肯德里 (Frank Estes Kendrie)	( <b>§</b> 251).
<b>些</b>	[\$130]。
宽四度	[§96]。
1	,
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
拉本(Paber)	[\$247—248]。
拉赫维调式 (Rahàwi)	[\$201]。
拉 莫(Jean Philipe Rameau)	[\$185,\$190]。
拉莫斯 (Bartolomé Ramos [Ramis] de Pareja)	(§168)。
拉那特·埃克 (Lǎnèt ek)	(\$225).
拉斯特调式 (rast)	[\$201,\$211].
拉香斯卡 (Hulda Lashanska)	[\$254].
狼 音(wolf)	[\$174]。
雷特伯格 (Elizabeth Rethberg)	[\$254]。
黎英海	[\$112注]。
李斯特 (Franz Liszt)	(\$239).
里第亚调式 (lydian mode)	[\$159,\$162]。
里拉琴 (lyra)	[\$160]。
里 曼 (Hugo Riemann)	(§40).
里米尼 (Giacomo Rimini)	[\$254]。
理论标准高度 (philosophical standard of pitch)	(§17)。
利调式 (Arsabhī)	[\$207]。
林马半音 (limma)	<b>[§</b> 50, <b>§</b> 55]。

· 273 ·

	`
林一钟	· [\$112].
铃	(§111).
凌廷堪	[\$147注②]。
刘复	[\$154注]。
刘 焯	[\$136-137]。
現特琴 (lute)	<b>6</b> [§172].
六分音	[\$193]。
六十律	[§131]。
<b>吕不韦</b>	[§122]。
<b>#</b>	[§1]。
律 制 (temperament)	[§1]。
<b>煮 镜</b>	[\$229]。
罗 西 (Rossi)	[ <b>§</b> 175]。
	[§130]。
马蒂纳里 (Giovanni Martinelli)	(§254)。
马 容(Victor Mahillon)	[§12,§153]。
井 什(Lucy Marsh)	<b>(§</b> 25 <b>4</b> )。
M	
玛调式 (madhyamā)	[\$207]。
玛音阶 (madhyama- grāma, ma- grāma)	[\$207-208]
麦卡托 (Gerardus Mercatos)	[\$180].
麦克白 (Florence Macbeth)	[\$254]。
梅纽因 (Yehudi Menuhin)	[\$251]。
梅特费塞尔 (Milton Metfessel)	[\$254]。
梅夏卡 (Michael Meschäqa)	[\$202]。
美 孙 (Pater Marie Mersenne)	[\$170]。
缅甸标准音阶	[\$227]。
民族平均律制:	(§223)。
膜振动	[§5,§13]。
莫里斯 (Johanne de Muris)	( <b>§</b> 166)。
英扎特 (Wolfgang Amadeus Mozart)	(§241)。
n	
那瓦閩式 (nawā)	[\$201]。
074	

南吕	(§112)。
尼调式 (nisadī)	(§207)。
尼克什 (Arthur Nikisch)	( <b>§</b> 256)。
n	
p	
帕列斯特里那 (Giovanni Pierluigi Palestrina)	[§177]。
<b>排 第</b>	(\$111).
整 涉	<b>(§229)</b> .
培 <b>罗格乐</b> 队	<b>(§22</b> 0].
培罗格乐制	( <b>§</b> 220).
朋塞雷 (Rosa Ponselle)	[\$254]。
琵 鼍	(§130)。
偏音	(§144]。
平潤	[§229]。
平均律半音	[\$47]。
平均音程值	<b>(§</b> 46).
頻 本 (frequency)	· · · [§4,§48]。
頻率比	[\$7,\$24,\$48]。
婆罗多 (Bhārata)	[\$203]。
普通音差 (common comma)	[\$22,\$17,\$71,\$161]。
q	
-	
七调碑	[\$208]。
七平均律	[\$213,\$225,\$227] <sub>o</sub>
七声体系	[\$109]。
七弦琴	( <b>§</b> 141).
气柱振动	[ <b>§</b> 5、 <b>§</b> 13]。
千分八度值 (Milioktavenmass)	[\$40].
钱乐之 ′	[\$134]。
秦腔	[\$211].
<b>清黄钟</b>	[\$112、\$112注]。
清乐音阶	[§143]。
丘明	[\$141]。
曲调小音阶 (melodic minor)	<b>(§</b> 58 <b>)</b> 。
全音音阶 (whole-tone scale)	[\$256]。
	• 275 •

玩 義	(§130). (§112).
8	
萨调式 (sadjī)	[\$207]。
萨尔萨尔 (Zalzal)	[\$198]。
萨尔萨尔中指	[\$200]。
萨菲・阿尔定 (Safi al-Din)	[\$201-202]。
萨里那斯 (Francisco de Salinas)	[\$175,\$183]。
萨音阶 (sadja-grāma, sa-grāma)	[\$207-208]。
三百六十律	[\$134]。
三分损益	[\$116,\$119].
三分模益律	[\$116-128]。
三分音	[\$193]。
三十一平均律	[\$180].
瑟	[\$111]。
森库拉调式 (zenkulā)	[\$201]。
沙 伐 (Félix Savart)	[§37]。
沙侯加滥	[\$148]。
沙腊	[ <b>§</b> 148]。
沙腊调式	<b>(\$208)</b> 。
沙识	[\$148]。
a <b>上 無</b>	[\$229]。
上原六四郎	(§233)。
神 仙	[\$229]。
沈 括	[\$147注②]。
声 学 (acoustics)	(§2).
笙	[\$111]。
<b>勝 绝</b>	[§229]。
十二平均律 (twelve-tone equal temperament)	[§50、第五章]。
十九平均律	[§180]。
十六分音	[\$193]。
十平均律	( <b>§</b> 219).
• 276 •	

十七律	[\$200-202]
十三律制	(\$200—202)。 (\$235)。
什里克 (Arnold Schlick)	[\$235]. [\$172].
舒柏特 (Franz Peter Schubert)	[ <b>\$</b> 239].
舒曼·海恩克 (Ernestine Schumann-	
<b><b> 帅德尔 (Toscha Seidl)</b></b>	[\$251]
双调	(\$229).
"順八逆六"相生法	[\$229]。
"順六遊八"相生法	[\$229].
斯伐拉 (svara)	[\$204]
斯基斯马 (schisma)	[\$190]
斯基斯马变换	[\$190]
斯拉特金 (Fe'lix Slatkin)	( <b>§</b> 251).
斯鲁蒂 (sruti)	[\$204]。
斯莫尔 (Arnold Small)	[\$251]。
斯塔克 (Herald Stark)	[\$254]。
斯台文 (Simon Stev'n)	[§183].
斯图姆普夫 (Carl Stumpf)	[§225]。
四度相生法	[§195]。
四分音 (quarter tone)	[\$193,\$198,\$202].
四分音(古希腊) (enharmonic)	<b>(\$1</b> 60) <b>.</b>
四分之三音 (three-fourth tone)	[\$109,\$198,\$202]。
四分之三音体系	[\$109、第八章、\$194、\$235]。
四十三平均律	[\$189]。
四十一平均律	[\$189].
四音列 (tetrachord)	[\$157].
<b>俟利笼</b>	. [\$148].
苏祗婆	[\$148]。
<b>苏犁婆琵琶音</b> 乐三十五调	[\$148]。
娑楞伽提婆 (Sārngadēva)	[\$209]。
<b>娑</b> 陁力	[\$148]。
<b>婆</b> 陶力调式	[\$208]。
索菲尔 (Joseph Sauveur)	<b>[\$186,\$189]</b> 。

塔蒂尼 (Giuseppe Tartini)	[\$187]。
塔 利 (Marion Talley)	[§254]。
太	[\$112]。
汤普森 (Carl Thompson)	[\$254]。
田边尚雄。	(\$46,\$231).
田舍节	[\$233]。
田中正平	[\$190,\$192].
托列密 (Ptolemy)	[§161]。
脱脱	[\$146—147]。
w	•
瓦格纳 (Richard Wagner)	[\$256]。
王光析	[\$46]。
王 朴	[\$138]。
王 湘	[\$228]。
威金琴 (virginal)	[\$183]。
威克迈斯特 (Andreas Werckmeister)	[\$183]。
微 音 (microtone)	(§193)。
微音差风琴 (enharmonic harmonium, enharmonium)	[ <b>§</b> 189 <b>,§</b> 192]。
韦斯特(West)	<b>(§227</b> )。
维成蒂诺 (Nicola Vicentino)	<b>(§</b> 167).
维慧拉琴 (vihuela)	<b>(§</b> 183).
维 那 (vina)	[ <b>§</b> 204]。
维特里 (Philippe de Vitry)	[ <b>§</b> 166]。
乌 德 (ud)	[§196]。
无伴奏合唱 (a cappella)	[\$172,\$177]。
无调音乐 (atonality)	<b>(§193)</b> 。
无 射	[§112]。
<b>亚</b> 百	·[§148]。
五度律大半音 [§17	',§59,§64, <b>§67</b> ]。
五度律大六度	[\$54,\$67,\$96]。
五度律大七度	[§54,§37]。
五度律大三度	[\$54,\$67,\$96]。

五度律大音阶	(§52)。
五度律减七度	(§67)́。
五度律减五度	[\$56,\$67]。
五度律小半音	[\$17,\$55,\$64,\$67]。
五度律小六度	[\$67]。
五度律小七度	[\$67,\$96]。
五度律小三度	[\$47,\$67,\$96]。
五度律小音阶	[\$57]。
五度律增二度	[\$58,\$67]。
五度律增六度	[\$67]。
五度律增七度	【§53注】。
五度律增三度	[§67]。
五度律增四度	[\$56,\$67]。
五度俸增五度	[\$67]。
五度律自然小音阶	[\$57]。
五度相生法	[\$51]。
五度相生律	<b>「第三</b> 章]。
五分音	[\$193]。
五平均律	[ <b>\$</b> 213, <b>\$</b> 2,1 <b>6</b> ]。
五声体系	( <b>§</b> 109).
五声徵调式	[\$121].
五十三纯律	[\$190]。
五十三平均律	[\$180,\$189]。
物理学高度 (physical pitch)	[\$17]。
<b>x</b>	
西尔伯曼 (Gottfried Silbermann)	[\$175]。
西拉夫肯特调式 (zirafkend)	[\$201]。
西肖尔 (Harold Seashore)	【【254注】。
西肖尔 (Helen Seashore)	<b>(§254)</b> 。
希恰西调式 (higazi)	[\$201].
異 搴	<b>(§</b> 130).
席该蒂 (Joseph Szigeti)	(§251).
狭五度	[\$96]。
下 無	[\$229]。
	0.57.0

· 279 ·

	**
夏里阿平 (Feodor Chaliapin)	[\$254]。
弦测音器	[\$21]。
弦振动	(\$5,\$13).
小半音 (minor semitone)	[\$47,\$90,\$96].
小第西 <b>斯</b>	(\$167).
小全音 (minor tone)	[\$47,\$73,\$96]。
小微音差 (semicomma minime)	[\$92,\$190(1)].
小音阶 (minor scale)	[\$57,\$81,\$104].
协和音程	( <b>§</b> 107).
协主音音差(syntonic comma)	(§71).
谢永一	( <b>§</b> 228).
新音阶	( <b>§</b> 143).
旋 法(日文汉字)	<b>(§231)</b> 。
旋 宫	(\$112,\$116).
<b>Д</b>	[ <b>§</b> 111 <b>]</b> 。
有 晶	<b>~[\$140]</b> 。
y	
雅乐宫调式	[§112]。
雅乐音阶	[§143]。
演奏会高度 (concert pitch)	[\$17]。
燕 乐	[\$129,\$145]。
燕乐二十八调	[\$147]。
<b>燕乐音</b> 阶	[\$143]。
阳调式	[ <b>§</b> 231—232] <sub>a</sub>
阳音阶	[ <b>§</b> 231—2 <b>32]</b> 。
杨 科 (Paul von Janko)	(\$189)。
杨 泉	[\$114]。
杨蓢浏	[\$140,\$153]。
一弦器 (monochord)	[\$158]。
伊奥里亚调式 (acolian mode)	[§162]。
伊拉克调式 (Irāq)	[§201]。
伊斯法汗调式 (Isfahān)	[§201]。
査 越	[\$229,\$231]。
夷 则	[\$112].

· 280 ·

	·
阴洞式	[\$231-232].
阴音阶	[\$231-232].
音 (tone)	[\$1-2].
音 差 (comma)	<b>(§</b> 56).
音程值_(interval value)	(§33).
音的高度 (pitch)	(\$4).
音 分 (cent)	[\$42,\$44]。
音分值 (cent)	[\$26,\$42,\$44]。
音 所 (scale)	[\$1]。
音 色 (tone colour)	[\$8]。
音体系 (tone system)	(\$1).
音响学 (acoustics)	[\$2]。
音乐学 (musicology)	〔\$40往〕。
吟 音 (vibrato)	[\$251,\$254]。
应 钟	[\$112].
學 商	[\$231-232].
學 羽	[\$231-232]。
俞丽拿	(\$249].
约阿希姆 (Joseph Joachim)	(\$242) <b>.</b>
乐 音 (musical tone)	[§3] <b>.</b>
乐 ·制 (tone system)	(§1).
. <b>z</b>	
噪 音(noise)	(§3).
曾侯乙	(§128).
增二度 (augmented second)	(§58).
张尔田	(\$114].
报 动 (vibration)	(\$4).
报动体长度	[\$48,\$114].
正 音	(§144) <sub>o</sub> .
中立六度 (neutral sixth)	[\$198,\$212].
中立七度 (neutral seventh)	[\$211].
中立三度 (neutral third)	(§198,§211) <sub>e</sub>
中立四度 (neutral fourth)	[\$212].
中立音(中立音程) (neutral interval)	[\$198-199,\$211-212]。

· 281 ·

中 昌	<b>(\$112)</b> 。
中世调式 (medioeval mode)	[\$162]。
中庸全音 (mean-tone)	[\$173]。
中庸全音律 (mean-tone temperament)	[\$172—175]。
朱载堉	[\$151]。
主音体 (homophony)	( <b>§</b> 97).
准	<b>(§133)</b> 。
自然半音 (diatonic semitone)	[§63]。
自然律 (natural temperament)	(§68,§77)。
自然七度 (natural seventh)	[§79]。
自然四音列 (diatonic tetrachord)	[\$160]。
自然小音阶 (natural minor)	[\$57]。
自然音阶 (natural scale)	[§77]。
最大音差 (comma mixma)	[\$23,\$47,\$56,\$58—59,\$63,\$67].

-

# 附录四 主要参考文献

**王光祈著**: 《东方民族之音乐》, 1929年。 《中国音乐史》, 1934年。

杨荫浏著: 《中国音乐史纲》, 1952年。

《中国古代音乐史稿》, 1964-1977年。

- [日]**田边尚雄著。**《音乐原论》,1935年。《音乐音响学》,1950年。
- [日]林谦三著(郭沫若译):《隋唐燕乐调研究》,1936年。
- [日]**黒沢隆朝著**: 《东南亚的音乐》 (东南部 アジアの 音 乐**)**, 1970年。
- [英] 埃利斯 (Alexander J. Ellis) 著: «各民族的音阶» (On the Musical Scales of Various Nations), 1922年。
  (门马直美日译本: 《诸民族の音阶》, 1951年。)
- [美] 马尔姆 (William P. Malm) 著: 《东方民族的音乐文化》 (Music Cultures of the Pacific, the Near East and Asia), 1967年。

(松前纪男・村井範子 日 译本: 《东洋民族の音乐》, 1971年。)

[德]拉赫曼 (Robert Lachmann) 著: 《东方的 音 乐》 (Musik des Orients), 1929年。

(岸边成雄注释日译本:《东洋の音乐》、1960年。)

[美]西肖尔(Carl E Seashore)著: 《音乐心理学》(Psychology of Music), 1938年。